



# 台電工程月刊

MONTHLY JOURNAL OF TAIPOWER'S ENGINEERING  
 第818期 105年10月號 Vol.818 October 2016

## 核能發電：

核一、二、三廠颱風暴潮極端值模擬.....林燮瑛 等.....(1)

## 輸 變 電：

161kV 冷縮型單件式矽橡膠接續匣事故統計分析及改善對策.....蕭勝任 等.....(14)

應用大數據分析提升斷路器預防維護能力.....翁永財 等.....(27)

## 資訊與電腦：

巨量資料在電力事業的應用研究.....葉家宏 等.....(37)

結合能源管理與自動需量反應之智慧建築需求面管理實例.....張作帆 等.....(62)

## 工程技術：

沸水式核電廠隔離不全管路與T型管路熱疲勞安全評估及  
 管制研究.....李昭仁 等.....(75)

## 其 他：

電動車(含充電站)V2G標準之研究.....盧豐彰 等.....(92)

誠信      關懷      服務      成長  
 Integrity      Caring      Service      Growth



台灣電力公司編印



# 台電工程月刊

第 818 期  
中華民國 37 年 9 月創刊  
中華民國 105 年 10 月出版

## 【出版宗旨】

1. 介紹最新電力科技
2. 鼓勵從業人員發表實務經驗論文
3. 推廣研究成果之應用，提昇電力技術水準

【發行人】：鍾炳利  
【主任委員】：蒯光陸  
【總編輯】：林正義  
【副總編輯】：王金墩  
【外文編輯委員】：林宗賢  
【財務委員】：張兆瓊  
【編輯委員】：吳有基 吳明勳 徐真明 郭政謙 王金墩 呂天泰 沈宗華  
吳瑞賢 何錦洪 林蒼喬 花敬翰 涂秀錦 侯明亮 洪紹平  
范振理 曾重富 楊金石 蒲冠志 廖鴻徹 蔡世育 劉建勳  
劉至瑄 鄭錦榮 鍾年勉 鍾輝乾  
【顧問】：王振勇 王耀庭 李清雲 李清課 吳士襄 陳永享 陳慰慈  
陳建益 黃凱旋 張武侯 蔡顯修 顏德忠 簡福添 蕭勝任  
【執行編輯】：詹凱婷  
【發行所】：台灣電力公司綜合研究所（100台北市中正區羅斯福路4段198號）  
【展售門市】：國家書店松山門市（104台北市松江路209號1樓，02-2518-0207）  
五南文化廣場台中總店（400台中市中山路6號，04-2226-0330）

---

【訂價】：全年 12 期 1200/1080/1440 元（紙本 / 電子 / 紙本 + 電子）  
學生經校方證明，全年 12 期 360/360/480 元（紙本 / 電子 / 紙本 + 電子）  
（國外郵資及手續費另加）

【帳號】：58115464909990（台灣銀行公館分行）

【戶名】：台灣電力股份有限公司

【投稿及訂閱地址】：100 台北市中正區羅斯福路 4 段 198 號

電話：(02)2360-1095 電子郵件：d53106@taipower.com.tw

【排版印刷公司】：九易數碼科技印刷有限公司

220 新北市板橋區府中路 175 號 1 樓 電話：(02)2966-0816

台北郵局許可證台北字第 2723 號

中華郵政台北誌第 544 號執照登記為雜誌交寄

# 核一、二、三廠颱風暴潮極端值模擬

The Estimation of Extreme Typhoon Storm Surges at Chinshan,  
Kuosehng and Maanshan Nuclear Power Plant

林嫩瑛** Lin, Mei-Ying	邱鈺婷* Chiou, Yu-Ting	邱銘達** Chiou, Ming-Da	林家德* Lin, Jyh-Der
夏振原* Hsia, Chen-Yuan	羅崇功* Lo, Chung-Kung	謝淑惠*** Hsieh, Shu-Hui	謝仲昇*** Hsieh, Chung-Sheng

(101~104 年研究計畫論文)

## 摘 要

本研究使用美國核能管制委員會於 2012 年提出的 NUREG/CR-7134 方法論，進行低機率極端暴潮的水災危害分析，評估極端值颱風暴潮事件對台灣核一、二、三廠的影響。執行的步驟為建置一高解析度且先進的風浪與颱風暴潮耦合模式系統、完成歷史颱風個案的驗證、進行極端颱風暴潮事件的模擬與分析、測試不同颱風參數對生成的颱風暴潮的影響，最後估算模式與氣候的不確定性，以及潮汐效應的影響。以年超越頻率  $10^{-6}$  的情況下，使用 Holland (1980) 的理想颱風模型建構數個極端颱風事件，以不同颱風中心氣壓、最大的颱風半徑、不同的颱風前進速度、颱風結構參數 Holland B 與颱風行進方向等，完成極端風暴潮事件的模擬。評估其核一、二、三廠最大可能颱風暴潮值(Probable Maximum Storm Surge, PMSS)分別為 6.3 公尺、5.4 公尺及 3.8 公尺均小於核一、二、三廠址高程，分別為 11.2 公尺、12 公尺及 15 公尺。

## Abstract

This study uses the methodology proposed by the US Nuclear Regulatory Commission in NUREG/CR-7134 in 2012 to assess the potential impacts of low-probability extreme storm surge hazards to the three operating NPPs in Taiwan. The implementation steps include developing a high-resolution state-of-the-art wave-surge coupling model, validation against historic typhoon records, simulating selected extreme typhoon surge events, testing the effects of different parameters on the typhoon surge, evaluating the uncertainties from modeling, tidal effects and climate change. This study simulates selected surge events caused by extreme typhoons of  $10^{-6}$  annual exceeding frequency, using Holland ideal typhoon model with various minimum pressures at the typhoon's center, maximum radiuses, approaching velocities and directions, Holland B factors. It is estimated the Probable Maximum Storm Surges (PMSSs) at the Chinshan, Kuosheng and Maanshan sites are respectively 6.3, 5.4 and 3.8 meters, all well below the corresponding site elevations of 11.2, 12 and 15 meters.

\*行政院原子能委員會核能研究所

\*\*財團法人國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心

\*\*\*台灣電力公司核能安全處

**關鍵詞(Key Words)：**風暴潮(Storm Surge)、颱風(Typhoon)、最大可能颱風暴潮值(PMSS)、核能電廠(Nuclear Power Plant)。

## 壹、前言

颱風引致之暴潮，又稱為颱風暴潮，乃因颱風中心低氣壓吮吸作用及海面強風之兩項氣象機制，對海面施以法線及切線方向的應力，使得潮位上升，此潮位與當時之天文潮之高差，稱為暴潮偏差。暴潮偏差隨著颱風中心的逼近而增加，而其極大值則常發生於颱風眼牆的位置，若適逢天文大潮最大暴潮水位，特別容易引起海岸溢淹、造成海邊設施的災害。核電廠的天然災害安全防護標準，常以極端事件為考量，建置核電廠相關的結構設施與系統，以確保核電廠安全的運作。本研究根據美國核能管制委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)於 2012 年提出 NUREG/CR-7134<sup>[1]</sup>方法論之執行步驟，同時使用結合定論式與機率式的方法論，強化僅使用單一方法的不足。本文第貳節為方法論概述，並說明其颱風暴潮極值評估程序。第參節說明研究方法及歷史颱風個案的驗證。第肆節利用數學統計方式，藉由過去的歷史颱風資料推算未來可能發生的極端颱風參數；颱風參數包含中心低壓、最大暴風半徑、最大暴風速度、颱風路徑和移動速度，並應用在台灣核能一、二、三廠附近海域，呈現數個極端颱風暴潮事件的結果。第伍節綜合討論上述結果，並探討風浪效應和潮汐運動對颱風暴潮的影響，求得可能的最大颱風暴潮水位(Probable Maximum Storm Surge, PMSS)。

## 貳、NUREG/CR-7134 方法論概述

對於評估低機率的風暴潮而言，僅使用機率式或定論式方法都各自有不足之處，若能透過適當方式將此兩種方法組合，可以提供單獨

使用兩種方法所沒有的優點。

### 一、NUREG/CR-7134 評估暴潮極值程序

颶風或颱風在自然環境中產生暴潮上限的存在性，亦即暴潮極值，可按照下列程序進行評估：

#### (一) 開發先進高解析度波浪-暴潮耦合模式系統

配合精確的地形-水深資料，所選用的模式系統須經過廠址位置的實際驗證。此方法所使用的模式系統必須儘可能有最佳的物理代表性，能夠適當處理所有關鍵的颱風運動尺度和地形/水深效應，同時經過廠址區域歷史資料的校準和驗證。

#### (二) 建立一組所謂的「合成」風暴

此組風暴應包含某個範圍內的颱風參數及其組合。NUREG/CR-7134 以美國南部海岸為例，選用模擬參數的原則包括：

1. 中心氣壓：最大可能強度為 880 毫巴的風暴，且其中心壓力低於最大可能強度達 10 毫巴。
2. 最大風速半徑：最大風速半徑為 30 海哩和 45 海哩的離岸風暴。
3. 前進速度：風暴應模擬三種風速：慢(5.5 kt)、中(11 kt)、快(22 kt)，都在 5~22 knots 的範圍內，此範圍是根據 IPET<sup>[2]</sup>，所顯示的墨西哥灣暴風速度和中心氣壓的組合分佈。
4. Holland B 因數：颱風結構參數介在 0.8 到 2.5 之間。以墨西哥灣為例，平均值應設定為 1.27。
5. 軌跡：軌跡應設定為具備最大風暴潮潛勢者。軌跡的位置與走向應根據該區域



高暴潮潛勢風暴軌跡的歷史記錄，同時會使風暴接近海岸時所受到的陸地干擾最小。

注意這些值僅適用美國南部墨西哥灣海岸，不見得適用其他區域，本文考慮台灣的狀況而有所變動。

(三) 應用已驗證的模式系統，模擬這些風暴在目標位置所產生的暴潮，並決定最高水位值。

此模式系統在應用時，可以現今的平均海平面，或以預測年限之內的海平面變化納入考量調整估算得出的高潮位，作為初始水位。在潮位範圍較大或海面水位上升率較高的區域，建議採用後者。

(四) 估算不確定度

需考量颱風強度、模式系統和氣候變遷的不確定性等因素。若考量潮位和海平面上升的調整值並沒有包括在模擬水位內，此時也必須將其加到所計算的最高暴潮水位上。

## 二、NUREG/CR-7134 估計低機率最大暴潮極值(PMSS)

機率式評估之基本架構是根據經證明可影響海岸區域的主要參數的聯合機率，主要的影響參數為風暴邊緣(切線)壓力減去中心壓力之壓差( $\Delta p$ )、最大風速半徑( $R_{\max}$ )、風暴前進速度( $V_f$ )、暴風航向角度( $\theta_f$ )及沿岸的登陸地點( $X_0$ )，其聯合機率式可表示為：

$$P(\Delta P, R_p, v_f, \theta_f, x_0) = \Lambda_1 \cdot \Lambda_2 \cdot \Lambda_3 \cdot \Lambda_4 \cdot \Lambda_5 \quad (1)$$

其中

$$\Lambda_1 \text{ 為 } p(\Delta P | x_0) = \frac{\partial}{\partial \Delta P} \left\{ \exp \left[ - \exp \left| \frac{\Delta P - a_0(x_0)}{a_1(x_0)} \right| \right] \right\}$$

(Gumbel Distribution)

$$\Lambda_2 \text{ 為 } p(R_{\max} | \Delta P) = \frac{1}{\sigma(\Delta P)\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{R}_{\max}(\Delta P) - R_{\max})^2}{2\sigma^2(\Delta P)}}$$

$$\Lambda_3 \text{ 為 } p(v_f | \theta_f) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{V}_f(\theta_f) - v_f)^2}{2\sigma^2}}$$

$$\Lambda_4 \text{ 為 } p(\theta_f | x_0) = \frac{1}{\sigma(x)\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\bar{\theta}_f(x) - \theta_f)^2}{2\sigma^2(x)}}$$

$$\Lambda_5 \text{ 為 } \Phi(x_0)$$

從 IPET<sup>[2]</sup>得知，風暴大小條件均值的線性迴歸係數來自：

$$\begin{aligned} \bar{R}_{\max} &= 14 + 0.3 \times (110 - \Delta p) & \Delta p \leq 110 \quad (2) \\ &= 14 & \Delta p > 110 \end{aligned}$$

$R_{\max}$  單位 nm(海哩)  $\Delta p$  單位為 mb(毫巴)。若忽略風暴潮估算的不確定度(誤差)，風暴強度和風暴大小組合的年超越頻率可以估計為：

$$p(\Delta P, R_{\max}) = p(R_{\max} | \Delta P) p(\Delta P) \quad (3)$$

在 IPET 研究中，可估算壓力差(Gumbel 分佈)和暴風大小(常態分佈)組合的年超越頻率。NUREG/CR-7134 說明主要受中心壓力及風暴半徑影響最大，故依此兩項參數建構極端風暴之年超越頻率  $10^{-6}$  以下，並由其估算出虛擬風暴的中心壓力及暴風半徑，再由其他參數設計數個虛擬的「合成」風暴，最後得出定論式暴潮極值。最後。加上依據 NUREG/CR-7134 的建議，考慮四種不確定性因素造成的水位變化，分別為：颱風最大可能強度的不確定度(Uncertainty<sub>MPI</sub>)、颱風暴潮模式預報的不確定度(Uncertainty<sub>Model</sub>)、氣候變遷的不確定度(Uncertainty<sub>Climate</sub>)及潮汐效應(Tidal Effects)，完成 PMSS 估算。

## 參、研究方法與歷史個案驗證

歷史颱風個案的驗證以 2012 年蘇拉颱風個案作為模式系統的校驗對象。

### 一、蘇拉颱風個案的特性

中度颱風蘇拉是2012年太平洋颱風季第九個被命名的風暴，於8月2日凌晨3時20分於花蓮縣秀林鄉登陸，主要的路徑概況如圖1所示。

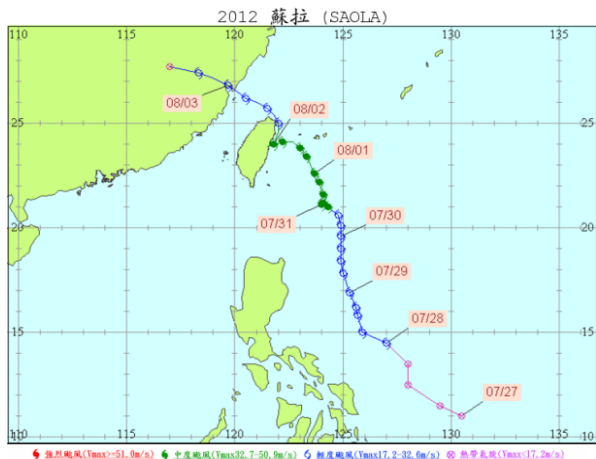


圖 1 2012 年蘇拉颱風觀測路徑

蘇拉颱風為台灣帶來豪雨，導致各地傳出淹水災情，加上颱風登陸時，適逢大潮，多處港口及河川出海口發生嚴重的海水倒灌，是個發生嚴重颱風暴潮的歷史事件，因此，可將蘇拉颱風作為校驗颱風暴潮的研究個案，用蘇拉颱風侵台期間觀測到的沿海水位變化來校驗模式結果，評估模式的可信度。利用 12 組颱風系集預報的風場與壓力場(如圖 2、3)，由於颱風暴潮預報的準確度與颱風路徑、中心低壓、暴風速度等因素有關，因此，校驗 12 組系集預報驅動出來的颱風暴潮，評估風場差異對颱風暴潮強度的影響，以作為建置虛擬風場時的參考依據。

## 二、潮位站觀測與分析

中央氣象局在台灣沿海設置的潮位觀測站驗證模式預報結果，因蘇拉颱風由花蓮登陸，選定幾個鄰近登陸點與核電廠附近的觀測站，來了解颱風在台灣沿海引起的水位變化。選定的觀測站有麟山鼻(LinShanBi)、基隆(Keelung)、龍洞(LongDong)、福隆(Fulong)、蘇澳(Suao)與後壁湖(HouBiHu)共六站。潮位站相

關位置如圖 4 所示，其中有基隆和福隆潮位觀測站未標示在圖上，它們的位置分別在基隆港和福隆漁港內。

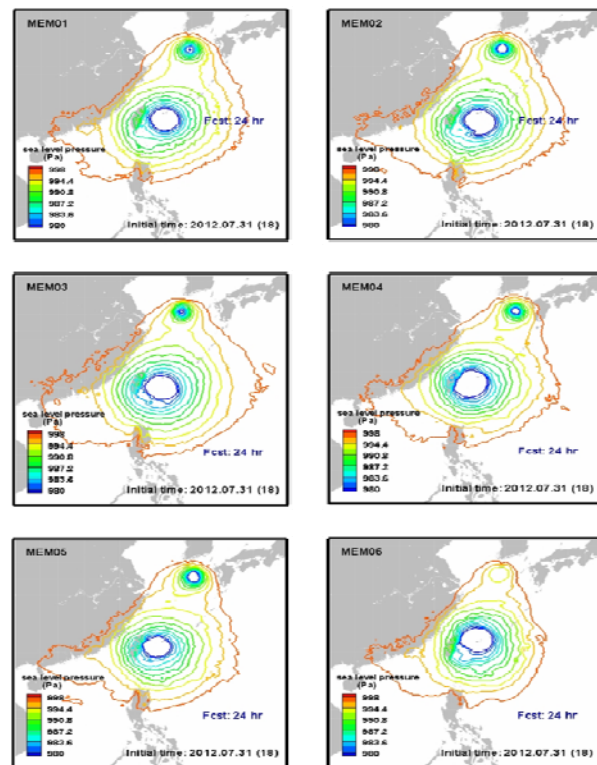


圖 2 顯示前六組系集颱風預報成員之第 24 小時預報的海面壓力場分布

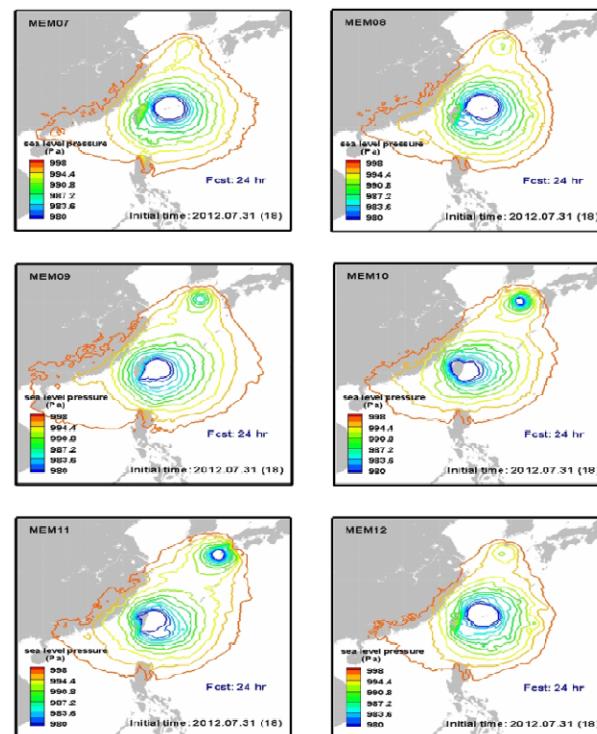


圖 3 顯示後六組系集颱風預報成員之第 24 小時預報的海面壓力場分布



資料來源：中央氣象局海象中心

圖 4 中央氣象局海象觀測站位置圖

### 三、颱風暴潮模擬結果與校驗

颱風暴潮模擬結果與校驗可以分成兩個部分討論，分別是大洋區(15 公里解析度)與近岸區(約 1 公里解析度)的模擬結果。大洋區的模擬使用 POM(Princeton Ocean Model)模式<sup>[3]</sup>；近岸區的模擬使用 SUNTANS(Stanford Unstructured Nonhydrostatic Terrain-following Adaptive Navier-Stokes Simulator)模式<sup>[4]</sup>。大洋區的模擬範圍較大，用來了解整個颱風侵台期間的過程，以及颱風暴潮水位受地形影響而產生的水位變化；近岸區的模擬範圍較小，以核電廠附近海域為主，用來了解局部海岸地形和風浪對颱風暴潮的影響。

颱風侵台期間海面上的波動主要由潮汐、颱風暴潮與風浪所組成，為了區別三者之間的差異，進行了四種情境的模擬，分別是(1)只有颱風暴潮，(2)只有潮汐，(3)同時有潮汐和颱風暴潮，(4)同時有潮汐、颱風暴潮和風浪。

#### (一) POM 模式的颱風暴潮模擬結果

就模擬情境(1)，只有颱風暴潮的情況而言，颱風預報路徑的差異，會造成颱

風暴潮發生的區域不同。因颱風暴潮的運動較類似強制波(Forced Waves)的運動，颱風暴潮水位變化的形態和颱風形態一致。也就是說，暴潮水位變化較大的區域，通常就是颱風中心的位置。另一方面，當颱風接近陸地時，地形效應會使水位波動產生凱文波(Kelvin Waves)的運動形態。凱文波的運動形態是在波動前進時，波峰沿著海岸移動，且海岸在波動行進的右方。

情境(2)只有潮汐和情境(3)同時有潮汐和颱風暴潮模擬的結果，可以看出整個洋面上水位變化的差異。就波動的相位與水位校驗而言，龍洞潮位站模擬到的相位與觀測結果(情境 3：Tide+Surge)相當吻合。

#### (二) SUNTANS 模式的颱風暴潮模擬結果

近岸海洋模式 SUNTANS 的模擬結果，主要是用來了解核電廠附近海岸地形和風浪對颱風暴潮的影響。

高解析度網格系統的 SUNTANS 模式可以更清楚的呈現波動在靠近海岸時受地形變化的影響，例如波動的折射或繞射。對低解析度網格系統的 POM 模式而言，潮位站觀測點不一定剛好是模式解析點，所以校驗 POM 模式的結果時，只能選用離觀測位置最近的模式解析點，會有一些空間上的誤差存在。

關於風浪對颱風暴潮的影響，模擬情境(3: Tide+Surge)和情境(4: Tide+Surge+Wind Waves)的結果幾乎沒有差異，說明風浪的運動對抬升整體平均水位的影響不大。

## 肆、極端颱風暴潮事件模擬

### 一、極端颱風事件風場

虛擬風場的參數化方程式，一般而言可分

成對稱式模型、非對稱式模型以及廣義式模型等。考量颱風暴潮極端值事件的評估，著重在颱風的強度、路徑與移動速度，使用對稱式模型(Holland, 1980)來建置的虛擬颱風，讓颱風的四個象限的風場和壓力場強度一致，避免颱風登陸角度不同而有風場強度不同的差異。

## 二、極端颱風事件參數

低機率颱風參數的選定，依據 NUREG/CR-7134 的建議，包含中心低壓、最大暴風半徑、移動速度、Holland B 和路徑。同時考量颱風暴潮的水位變化受中心低壓與最大暴風速度的影響最大，在估計低機率暴潮偏差之上限值時，亦測試不同最大暴風速度，觀察颱風暴潮水位的變化。因此用來建構不同極端颱風事件的參數有：(1)中心低壓；(2)最大暴風半徑；(3)最大暴風速度；(4)颱風路徑；(5)颱風結構參數 Holland B；(6)颱風移動速度。

### (一) 中心低壓與最大暴風半徑參數

中心低壓與最大暴風參數的估計是參考 NUREG/CR-7134 第 4.2 節的機率式作法，使用風暴強度與風暴大小推估極端風暴機率組合，求得中心低壓與最大暴風半徑參數。其中，風暴強度由風暴外圍與中心的壓力差(1013 毫巴-中心低壓)決定，風暴大小由風暴的最大暴風半徑決定，並且，此極端風暴機率組合須達核電廠安全標準之年超越頻率(迴歸周期的倒數)為  $10^{-6}$  的情況下，才屬於極端颱風事件的等級。核能研究所以中央氣象局 1958-2013 年(55 年間)的歷史颱風個案為分析對象，使用風暴強度與風暴大小，推估核一、二、三廠之極端風暴機率組合。依據歷年颱風的路徑分類，路徑經過台灣北邊且對核一、二廠有影響之颱風，如表 1 所示；路徑經過台灣南邊且對核三廠有影響之颱風，如表 2 所示。

表 1 核一、二廠暴潮偏差極端值分析參考風暴列表

年分	颱風名稱	最小中心壓力(mb)
1958	GRACE	920
1959	BILLIE	970
1959	LOUISE	970
1960	TRIX	960
1960	SHIRLEY	950
1962	AMY	960
1962	OPAL	940
1963	GLORIA	940
1963	WENDY	970
1967	GILDA	995
1969	BETTY	965
1971	BESS	960
1976	BILLIE	955
1977	VERA	940
1980	NORRIS	960
1985	NELSON	950
1986	ABBY	965
1989	SARAH	980
1990	YANCY	970
1994	GLADYS	975
1996	HERB	950
1997	AMBER	955
2004	AERE	960
2005	HAITANG	955
2007	WIPHA	935
2007	KROSA	965
2008	JANGMI	970
2008	SINLAKU	975
2013	SOULIK	960

表 2 核三廠暴潮偏差極端值分析參考的風暴列表

年分	颱風名稱	最小中心壓力(mb)
1961	SALLY	980
1961	LORNA	960
1965	HARRIET	975
1986	WENDY	975
1975	BETTY	965
1977	THELMA	965
1980	PERCY	920
1982	ANDY	955
1987	GERALD	960
1995	RYAN	940
1996	GLORIA	965
1999	MAGGIE	970
2003	DUJUAN	950
2010	FANAPI	950
2011	NANMADOL	980



按照 NUREG/CR-7134 的方法，為達核電廠安全標準之年超越頻率  $10^{-6}$  下的情況，建議核一、二廠選用風暴壓力差及風暴半徑的極端風暴參數組合分別為 (865mb, 80km) 及 (840mb, 70km) 兩種(參考表 3、表 4)；核三廠選用風暴壓力差及風暴半徑的極端風暴參數組合分別為 (865mb, 80km) 及 (840mb, 75km) 兩種(參考表 5、表 6)。

表 3 核一、二廠風暴強度之年超越頻率

風暴壓力差( $\Delta p$ ) (mb)	1/迴歸周期
148	9.75E-05
173	1.18E-05

表 4 核一、二廠風暴大小之年超越頻率

風暴半徑 ( km)	1/迴歸周期
70	7.66E-02
80	4.40E-03

表 5 核三廠風暴強度之年超越頻率

風暴壓力差( $\Delta p$ ) (mb)	1/迴歸周期
148	7.48E-05
173	1.03E-05

表 6 核三廠風暴大小之年超越頻率

風暴半徑 (km)	1/迴歸周期
75	3.87E-02
80	1.11E-02

(二) 最大暴風速度

最大暴風速度的參數設定，參考西北太平洋歷史颱風事件(西元 1951-2013 年)的相關資訊，如圖 5 所示，共約 1000 個颱風個案。資料顯示發生過的最大暴風速度最快可達 64.3m/s (以 10 分鐘平均風速計算)，曾經發生的歷史事件有 30 筆。以 2013 年的強烈颱風海燕為例，是歷史有紀錄以來強度排行第二的颱風。最大暴風速度達 64.3 m/s，故風速以 65 m/s 來建構虛擬颱風。

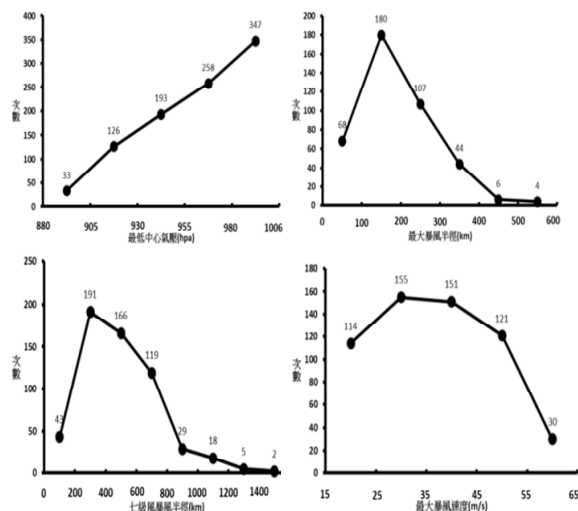


圖 5 西北太平洋歷史颱風事件之最低中心氣壓(上圖左)、最大暴風半徑(上圖右)、七級風暴風半徑(下圖左)與最大暴風速度(下圖右)的統計結果

(三) 颱風路徑與移動速度

颱風移動的速度對颱風暴潮大小的影響較小，一般而言，移動慢的颱風較易吸收海面上的水氣，會產生較強的降雨，影響台灣的時間也較長。如圖 6 所示。路徑 1 的颱風正好經過核電廠附近海域；路徑 2 與 3 分別較路徑 1 的位置偏北與偏南。

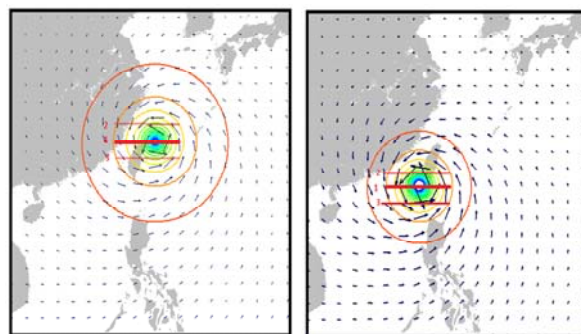
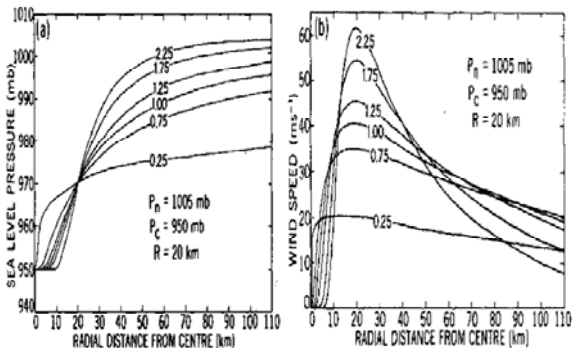


圖 6 極端颱風暴潮事件路徑。

(四) 颱風結構參數 Holland B

如前使用 Holland (1980)的理想颱風模型建構極端颱風事件的風場與壓力場，如圖 7 所示。一般而言，中度或輕度颱風，參數 B 的值較小，風場與壓力場變化的梯度較小；強烈颱風的參數 B，數值較大，風場與壓力場變化的梯度也就比

較大。在本研究中，選用參數 B 介在 1.05 與 2.0 之間的值<sup>[5]</sup>，進行極端颱風暴潮事件的實驗。



資料來源 Holland,1980

圖 7 颱風結構參數 Holland B 對(a)海平面氣壓與 (b)風速剖面圖

### 三、極端颱風暴潮事件模擬結果

極端颱風暴潮事件的模擬是使用理想颱風模型與六種影響參數所決定的颱風運動過程，驅動海洋模式 POM，以產生颱風暴潮。由於颱風暴潮不會獨立發生，會與潮汐和風浪同時存在。為了瞭解颱風暴潮、潮汐和風浪對核一、二、三廠附近水位的影響，在同樣颱風參數設定的情況下，進行了三組實驗。分別是：(1)極端颱風暴潮的模擬；(2)極端颱風暴潮與潮汐的模擬；(3)極端颱風暴潮與風浪的模擬。

#### (一) 極端颱風暴潮事件與潮汐效應

極端颱風暴潮事件產生的水位變化與潮汐運動之間的關係，若是為了初步參考，可以考慮使用線性疊加的概念將兩者最大水位相加，但是，若想了解兩者非線性作用的關係，則需使用模式進行模擬。因此，除了進行颱風暴潮的模擬實驗之外，亦進行同時模擬颱風暴潮與潮汐的實驗，用來了解潮汐對颱風暴潮的影響。實驗 1 代表的是只進行颱風暴潮水位模擬，實驗 2 代表的是同時進行潮汐和颱風暴潮的水位模擬。

以颱風經過核一、二廠附近海域的事

件而言，實驗 1 的設計方式是讓前 72 小時的海面保持靜止，第 73 小時開始颱風暴潮的模擬，第 100 小時是颱風最接近核一、二廠附近海域的時間點；實驗 2 的設計方式是先讓模式進行 72 小時的潮汐預報，第 73 小時加入颱風風場與壓力場，驅動颱風暴潮的運動，第 100 小時，讓颱風最接近核一、二廠時，遇到大潮發生時刻。如圖 8 顯示颱風暴潮的水位變化(右圖：Surge Only)；潮汐和颱風暴潮作用後的水位變化(左圖：Tide+Surge)。兩組對照實驗的在時序安排與路徑規劃上有差異時，在水位分布上的影響。在時序安排方面(Time=72、74、90h)，因颱風效應在地 73 小時才開始加入模擬，所以第 72 小時的水位分布圖顯示實驗 1(Surge Only) 的水位分布為零，實驗 2(Surge+Tides)的水位分布僅有潮汐造成的水位變化；第 74 小時的水位分布圖顯示實驗 1 與 2 在台灣東北方向，皆出現颱風造成的水位抬升現象；第 90 小時開始，颱風漸漸逼近核電廠附近海域，並於第 100 小時左右抵達核電廠附近，此時，數值實驗 2 的潮汐也達大潮發生時刻，水位達到最大，有加入潮汐效應的實驗得到的水位較大。

以颱風經過核三廠附近海域的事件而言，進行兩場實驗。實驗 1 的設計方式是讓前 72 小時的海面保持靜止，第 73 小時開始颱風暴潮的模擬，第 120 小時是颱風最接近核三廠附近海域的時間點；實驗 2 的設計方式是先讓模式進行 72 小時的潮汐預報，第 73 小時加入颱風風場與壓力場，驅動颱風暴潮的運動，第 120 小時，讓颱風最接近核三廠時，遇到大潮發生時刻。

由圖 9 顯示颱風暴潮的水位變化(右圖：Surge Only)；潮汐和颱風暴潮作用後

的水位變化(左圖：Tide+Surge)。兩組對照實驗的在時序安排與路徑規劃上有差異時，在水位分布上的影響。在時序安排方面(Time=75、103、120h)，水位分布圖顯示實驗 2(Tide+Surge)可以同時看到潮汐波動與颱風暴潮水位變化，實驗 1(Surge Only)只有颱風暴潮的水位變

化；在第 103 小時颱風開始靠近核電廠附近海域，並於第 120 小時左右抵達核電廠附近，此時，實驗 2 的潮汐也達大潮發生時刻，水位達到最大。

在所有建構虛擬風暴事件的結果中，如表 7，歸類以下結論：

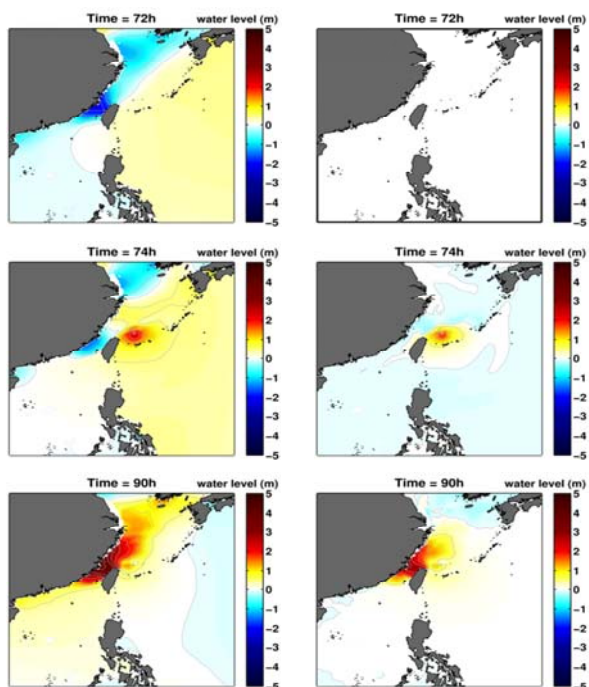


圖 8 極端颱風暴潮事件 NC03 的水位分布圖

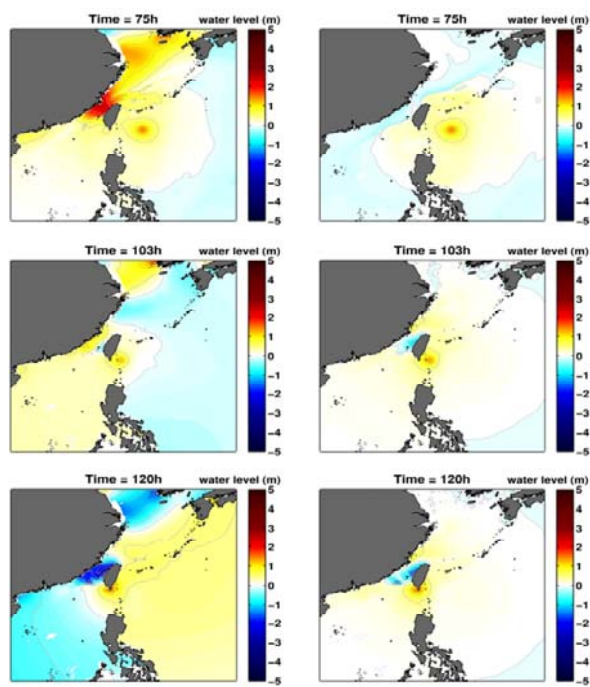


圖 9 極端颱風暴潮事件 SC03 的水位分布圖

表 7 POM 模式在核一、二、三廠附近海域模擬到的最大暴潮水位 (Surge only)，以及與潮汐作用後的最大暴潮水位 (Tide+Surge)。符號+表示平均移動速度為 3.72 m/s

極端 暴潮 事件	中心 低壓 (mb)	最大暴 風半徑 (km)	最大暴 風速度 (m/s)	Holland B	路徑 分類	移動 速度 (m/s)	暴潮偏差(m) Surge only		暴潮偏差(m) Tide+Surge	
							核一廠	核二廠	核一廠	核二廠
NC01	865	80	65	1.3	1	+	2.961	2.656	3.417	3.073
NC02	865	80	65	1.15	1	+	2.958	2.514	3.500	3.053
NC03	865	80	65	1.25	1	+	2.858	2.476	3.381	2.986
NC07	865	80	65	1.3	1	+	2.961	2.656	3.417	3.073
NC11	840	70	65	1.05	1	+	2.953	2.489	3.420	3.038
NC12	840	70	65	1.15	1	+	2.904	2.466	3.334	2.948
NC13	840	70	65	1.25	1	+	2.865	2.415	3.268	2.900
NC17	840	70	65	1.3	1	+	3.006	2.649	3.387	3.058
極端 暴潮 事件	中心 低壓 (mb)	最大暴 風半徑 (km)	最大暴 風速度 (m/s)	Holland B	路徑 分類	移動 速度 (m/s)	暴潮偏差(m) Surge only		暴潮偏差(m) Tide+Surge	
SC03	865	80	65	1.05	1	+	核三廠 1.474		核三廠 1.560	
SC07	865	80	65	1.3	1	+	1.504		1.639	
SC17	840	75	65	1.3	1	+	1.757		1.864	
SC18	840	75	75	1.3	1	+	1.717		1.839	
SC20	840	75	85	2.0	1	+	1.780		1.920	



1. 以路徑一影響核一、二、三廠最大。
2. 對核一、二廠而言，颱風結構參數 Holland B 越接近數值為 1 時，暴潮偏差較大，然核三廠 Holland B 參數設定，較無影響。
3. 所有事件皆顯示核一廠附近海域的暴潮水位，比核二廠附近海域的暴潮水位大。此與凱文波(Kelvin Waves)運動有關，因為凱文波運動的波高在沿著波前進方向的右手邊(中國沿岸)最大，然後向岸外遞減。
4. 比較數值實驗 1 與 2 的差異，發現潮汐作用在颱風暴潮上，水位上升的幅度約介在 30-50 公分之間，因此，潮汐對核一、二、三廠極端颱風暴潮事件水位的影響不大。
5. 對核一、二廠而言，關於中心氣壓與最大暴風半徑的參數設定，實驗結果顯示參數設定為 865 毫巴與 80 公里的組合，產生的颱風暴潮水位，會比參數設定為 840 毫巴與 70 公里的組合大，核三廠則反之。

(二) 颱風暴潮與風浪效應

近岸海洋模式 SUNTANS 進行近岸區的颱風暴潮與風浪的模擬，並建置兩組數值實驗 A 與 B，了解風浪效應對颱風暴潮水位的影響。實驗 A 只模擬颱風暴潮的運動，實驗 B 則是同時模擬風浪與颱風暴潮的運動。實驗 A 的設計方式是將 POM 模式提供的水位邊界條件給 SUNTANS 模式進行高解析度的颱風暴潮(Surge only)的模擬；實驗 B 的設計方式是 SUNTANS 同時使用 POM 模式提供的水位邊界條件與 WRF(Weather Research and Forecasting)模式<sup>[6]</sup>提供的風場與壓力場邊界條件，進行高解析度的颱風暴潮與風浪(Surge + wind waves)的模擬，SC07 事件結果說明僅暴潮偏差核三廠為 1.519 公尺，然暴潮加上風浪效應核三廠為 1.518 公尺，所以風浪造成水體抬升，效應不大。

四、估計低機率暴潮偏差之上限值

美國核管會提出的颱風暴潮安全評估報告 NUREG/CR-7134 顯示，估計低機率 PMSS 時，建議使用定論式與機率式方法論來推估。應用此方法論於台灣核能一、二、三廠的極端颱風暴潮事件上，如前述章節所記載的，首先藉由理論與數學統計方法，找出台灣核能一、二、三廠附近低機率的颱風參數，接著放入先進的風浪與暴潮模式，搭配高解析度的海底地形，模擬出核電廠附近的低機率颱風、暴潮與風浪，得到一個定論式暴潮極值  $PMSS_{deterministic}$ ，再依據 NUREG/CR-7134 的建議，考慮四種不確定性因素造成的水位變化，完成 PMSS 的估算，四種不確定性分別為 1. 颱風最大可能強度(Maximum Possible Intensity, MPI) 的不確定度：Uncertainty<sub>MPI</sub>；2. 颱風暴潮模式預報的不確定度：Uncertainty<sub>Model</sub>；3. 氣候變遷的不確定度：Uncertainty<sub>Climate</sub>；4. 潮汐效應：Tidal Effects。結果如下：

$$PMSS = PMSS_{deterministic} + Uncertainty_{MPI+Model} + Uncertainty_{Climate} + Tidal\ Effects \text{ (公尺)} \tag{4}$$

核一廠 PMSS  
 $6.3 = 3.0 + 1.2 + 1.4 + 0.7 ;$

核二廠 PMSS  
 $5.4 = 2.7 + 1.1 + 1.1 + 0.5 ;$

核三廠 PMSS  
 $3.8 = 1.8 + 0.8 + 0.8 + 0.4$

說明如下：

(一) 定論式暴潮極值  $PMSS_{deterministic}$

估計核一、二、三廠定論式暴潮極值時，考量颱風結構與最大暴風速度會受高山地形破壞，參考暴風速度為 65m/s 的結果，依據表 7 得到的結論，其核一、二、三廠的定論式暴潮極值分別為 3 公尺、2.7 公尺及 1.8 公尺。

(二) 颱風最大可能強度與模式的不確定度

$$Uncertainty_{MPI+Model}$$

颱風預報的不確定性在於模式無法解析所有空間或時間尺度的物理現象，需要

藉由參數化的方式來代表某些物理過程，例如，邊界層參數化、積雲參數化和雲物理參數化等，以及需要使用資料同化的方法來彌補觀測資訊不足的情形，以提供準確的初始場。因此，需要應用系集預報的概念與方法來掌握颱風預報的不確定性。因系集成員對颱風的強度與路徑預報都有差異，所以驅動出來的颱風暴潮偏差也會不同，產生的颱風暴潮範圍約在 30-50 公分之間。為了解極端颱風暴潮事件所建構的理想颱風模型(Holland,1980)<sup>[7]</sup>與系集成員所產生的暴潮的差異，亦應用 Holland 的颱風模型與 2012 年的蘇拉颱風個案上，與潮位站觀測到的水位比較。就蘇澳、龍洞和福隆潮位站的校驗結果(圖 10、11 及 12)，其圖中觀測結果(藍色圓點)；使用颱風系集預報風場的模擬結果(紅色實線)；使用 Holland (1980)理想颱風模型的模擬結果(綠色實線)發現觀測到的颱風暴潮偏差約為 50 公分，使用系集預報或理想颱風模型建構的風場和壓力場所產生的颱風暴潮範圍約在 30-50 公分之間。以離颱風登陸點最近的觀測點(蘇澳站)與理想颱風模型的結果而言，誤差大約在 40 %左右，因此核一廠  $Uncertainty_{MPI+Model}$  為  $3.0 \times 40 \% = 1.2$  公尺；核二廠為  $2.7 \times 40 \% = 1.1$  公尺；核三廠為  $1.8 \times 40 \% = 0.8$  公尺。

### (三) 氣候變遷的不確定性 $Uncertainty_{Climate}$

氣候的改變會影響海平面高度的變化，若全球暖化的事件發生，海表面溫度升高，則海面平均水位將抬升，颱風強度也會增強。根據 Bister and Emanuel (2002)<sup>[8]</sup>利用西元 1982-1995 年全球氣象觀測資料製作的颶風氣候潛在強度(Hurricane Climatological Potential Intensity)地圖，發生機率為 10%的全球氣壓分布(90th Percentile Minimum Central Pressure in July)，在台灣經過核一、二、三廠附近區

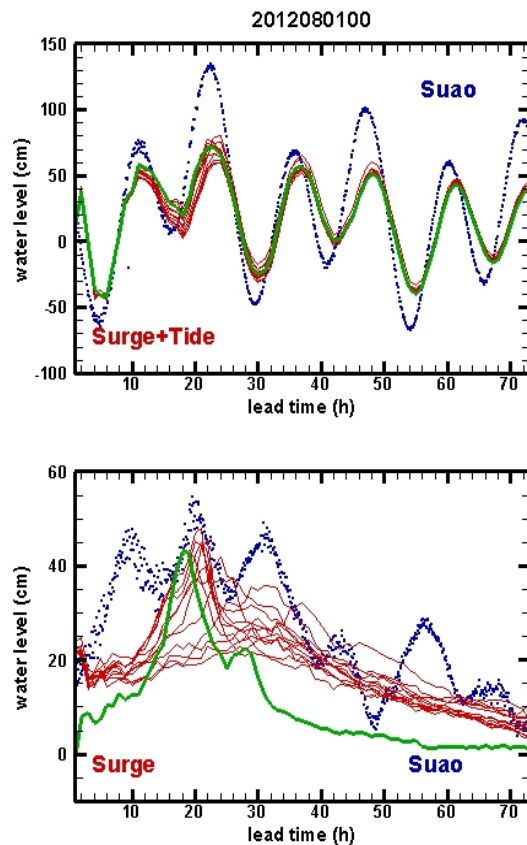


圖 10 蘇澳站的潮位校驗

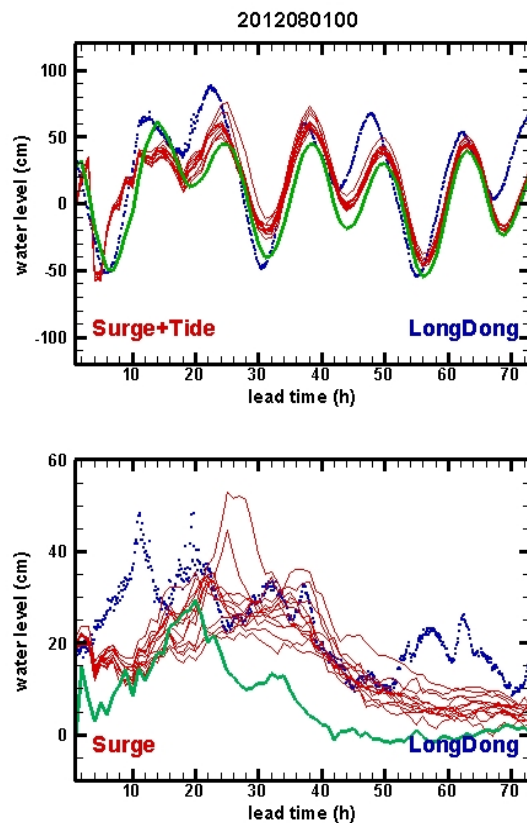


圖 11 龍洞站的潮位校驗

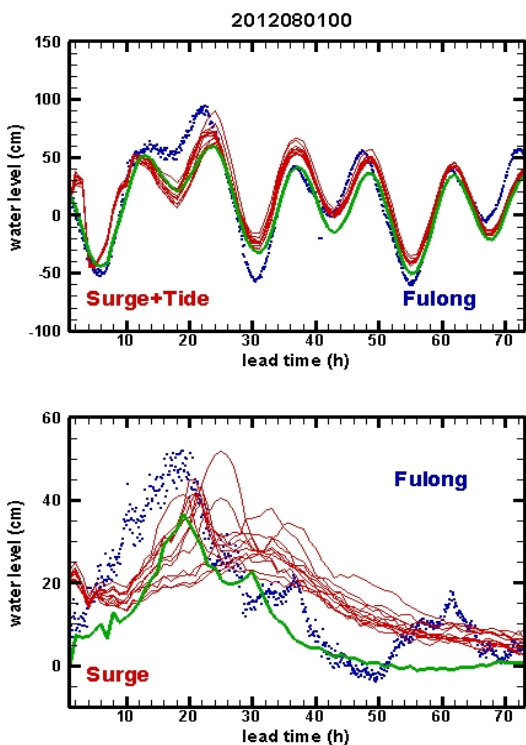


圖 12 福隆站的潮位校驗

域在七月可能發生的海平面氣壓分別為 870、900 與 930 毫巴。由於 1 毫巴的氣壓變化會使海平面產生 0.991 公分的水位差異，因此核一廠  $Uncertainty_{climate}$  為  $(1013-870) \times 0.00991 = 1.4$  公尺；核二廠為  $(1013-900) \times 0.00991 = 1.1$  公尺；核三廠為  $(1013-930) \times 0.00991 = 0.8$  公尺。

(四) 潮汐效應 Tidal Effects

為求得潮汐效應，進行兩組實驗來了解潮汐對極端颱風暴潮事件的影響。實驗 1 僅模擬颱風暴潮的運動(Surge only)，實驗 2 同時模擬潮汐與颱風暴潮的運動(Surge+Tides)。由兩組實驗的水位差  $\eta_{tide}$ ， $\eta_{tide} = \eta_{tide+surge} - \eta_{surge}$  (圖 13 潮汐的淨效應)。表 8、9 顯示每場颱風暴潮事件在潮汐影響下所造成的最大水位抬升，以及所有事件的最大水位的平均。因此，核一廠的潮汐效應(Tidal Effect)約為 0.7 公尺；核二廠約為 0.5 公尺及核三廠約為 0.4 公尺。

表 8 颱風暴潮事件在核一、二廠附近海域因潮汐效應而引起的最大水位抬升高度

事件	核一廠	核二廠
NC01	0.737	0.526
NC02	0.745	0.539
NC03	0.749	0.558
NC07	0.737	0.526
NC11	0.745	0.550
NC12	0.749	0.565
NC13	0.752	0.582
NC17	0.739	0.542
平均	0.74	0.54

表 9 颱風暴潮事件在核三廠附近海域因潮汐效應而引起的最大水位抬升高度。

事件	核三廠
SC03	0.401
SC07	0.393
SC17	0.404
SC18	0.400
SC20	0.398
平均	0.4

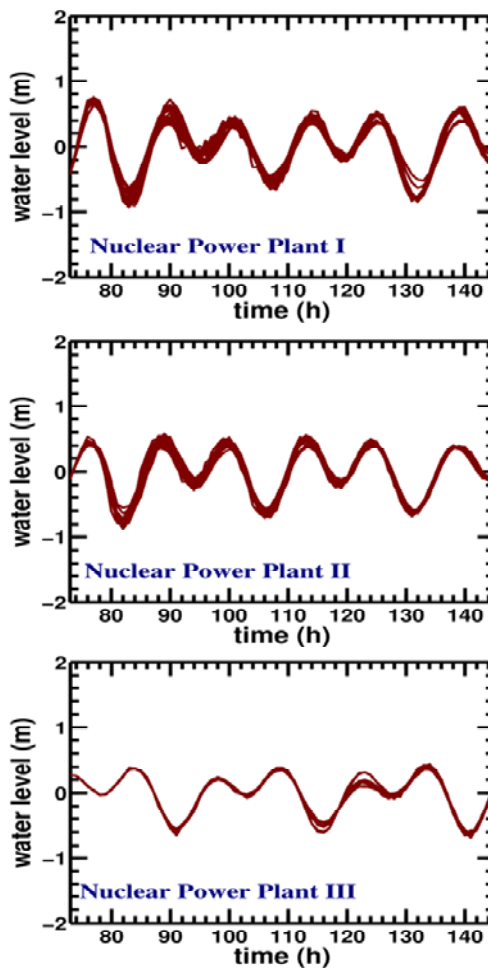


圖 13 核一、二、三廠附近海域的潮汐效應

## 伍、結論與建議

本研究使用先進的颱風暴潮模式系統了解颱風暴潮對核電廠附近海水水位的影響，模式系統包含了大氣模式 WRF、海洋模式 POM 和近岸海洋模式 SUNTANS，是一個可以同時模擬風浪與颱風暴潮的模式系統。以 2012 年的蘇拉颱風個案為校驗對象，用系集預報的方式來掌握颱風預報的不確定性。實驗設計方式先以大氣模式 WRF 模式產生 12 組颱風預報結果，再將 WRF 產生的風場與壓力場作用在海洋模式 POM 的海面上，同時由全球潮汐模式提供 POM 模擬邊界所需的潮汐運動條件，得到大洋區的潮汐與颱風暴潮的運動過程。大洋區模擬結果的校驗顯示，POM 模式可以掌握到最大的颱風暴潮水位，也可以模擬出潮汐或颱風暴潮受海岸地形影響而產生的凱文波運動。接著進一步使用高網格解析度的 SUNTANS 模式，模擬核電廠附近的颱風暴潮與風浪的運動，結果顯示 SUNTANS 可以模擬細部的水位隨海岸結構變化的情形，以及浪高的分布。最後，使用 Holland(1980)的理想颱風模型建構數場極端颱風事件，配合不同颱風參數的使用，包括颱風中心低壓、最大暴風半徑、最大暴風速度、颱風路徑與移動速度等，估算核電廠附近海域可能發生的最大颱風暴潮水位。由於模式的不確定性、氣候的變遷，以及潮汐效應皆會影響平均水位的變化，亦進行不同數值實驗來推算它們造成的水位抬升量。最後，得到的最大可能颱風暴潮(Probable Maximum Storm Surge)在核一、二、三廠，分別為 6.3、5.8 與 3.8 公尺，均遠低於目前廠址的高程。結果另顯示在受相同參數建構的極端颱風事件侵襲的情況下，地形效應產生的凱文波(Kelvin Wave)運動會影響核一、二廠附近海域水位的變化，使水位上升較核三廠附近海域明顯。

## 陸、參考文獻

- [1] USNRC, "The Estimation of Very-Low Probability Hurricane Storm Surges for Design and Licensing of Nuclear Power Plants in Coastal Areas," NUREG/CR-7134, May 2012.
- [2] IPET: Interagency Performance Evaluation Task Force, "Performance evaluation of the New Orleans and southeast Louisiana hurricane protection system, "vol VIII-Engineering and Operational Risk and Reliability Analysis. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC,2009, Available: <https://ipet.wes.army.mil/>.
- [3] Blumberg, A. F. and G. L. Mellor., "A Simulation of the Circulation in the Gulf of Mexico," Israel Journal of Earth Sciences, vol.34 pp.122-144, 1985.
- [4] Fringer, O. B., J. C. McWilliams, and R. L. Street, "A new hybrid model for coastal simulations," Oceanography, vol.19, pp.46-59, 2006.
- [5] 林偉、方偉華，「西北太平洋颱風風場模型中 Holland B 係數區域特徵研究」，熱帶地理，第 33 卷，第 2 期，第 124-132 頁，2013 年。
- [6] Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers, "A description of the advanced research WRF version 3." NCAR technical note NCAR/TN-475+ STR, pp. 113.
- [7] Holland, G. J., "An analytic model of the wind and pressure profiles in Hurricanes," Mon. Weather Rev., vol.108, pp.1212-1218, 1980.
- [8] Bister, M. and K. Emanuel, "Low frequency variability of tropical cyclone potential intensity 1. Inter annual to interdecadal variability," J. Geophys. Res., vol.107, no.D24, pp.4801, 2002.

# 161kV 冷縮型單件式矽橡膠接續匣事故 統計分析及改善對策

Statistical Analysis and Improvement for 161kV One-piece Silicon Rubber Cable Joint Faults

蕭勝任\*  
Hsiao, Sheng-Jen

余維文\*\*  
Yu, Wei-Wen

邱文毓\*\*\*  
Chiu, Wen-Yu

## 摘要

台電公司 161kV 交連 PE 電纜接續匣，於近 15 年來共計發生 41 次事故，其中 38 次(占 93%)屬冷縮型(Premolded Type)單件式(One-piece)接續匣，餘之 3 次(占 7%)屬預鑄型(Prefabricated Type)接續匣。38 次事故的冷縮型單件式接續匣事故中，其絕緣體材質屬使用矽橡膠(Silicon Rubber)者計有 34 次。本文係探討冷縮型單件式矽橡膠接續匣事故發生的原因，於五大構面擬訂相關改善對策，以確保供電穩定與安全。

## Abstract

Taiwan Power Company has experienced 41 electrical faults at 161kV cross-linked polyethylene cable joints for the past 15 years. Among the 41 faults, 38 cases (93%) belong to shrink type (premolded type) one-piece cable joints while the other 3 cases (7%) belong to pre-casting type (prefabricated type). Furthermore, among the 38 shrink type one-piece cable joints faults, there were 34 cases in which silicon rubber was used as insulation material. This paper is aimed at analyzing the causes of the shrink type one-piece silicon rubber cable joint faults and proposing countermeasures from five major aspects to assure a stable and safe power supply.

**關鍵詞(Key Words)：**交連 PE 電纜(Cross-linked Polyethylene Cable)、電纜接續匣(Cable Joint)、矽橡膠(Silicone Rubber) 乙丙烯橡膠(Ethylene Propylene Rubber)。

## 壹、前言

台電公司因配合國家產業政策，自 2008 年開始實施輸電級電纜及附屬器材國產化，原大量使用之 161kV 交連 PE 電纜「預鑄型」(Prefabricated Type)接續匣，從此改由國產化「冷縮型」(Premolded Type)單件式(One-piece)接續匣取代。該型式之接續匣與「預鑄型」最大差異，

係將應立錐直接預模成形於一橡膠單體內，大幅簡化原「預鑄型」需於現場二次施作之工法<sup>[1]</sup>。亦因此提高電纜接續的施作效率並降低施工成本。惟經長期運轉後，卻發現其事故率遠高於原使用之「預鑄型」，約占 161kV 交連 PE 電纜接續匣總事故次數之 83%。再經調查比對後發現，有極少數矽橡膠(Silicone Rubber)接續匣之絕緣原料，因攪拌不足(半自動製程)，於遇 DC+Simp(直流殘留電壓+投入時之過電壓)時，其絕

\*台灣電力公司輸供電事業部供電處

\*\*台灣電力公司輸供電事業部輸變電工程處

\*\*\*台灣電力公司輸供電事業部花東供電區營運處



緣特性會明顯驟降而導致絕緣崩潰擊穿，惟對 AC 與 Imp 的特性，是不會有影響。另亦有部份之事故係屬「施工不良」所致，為能杜絕該等事故之再發，即同步研擬相關之改善對策，以確保供電穩靠與安全。

## 貳、161kV 交連 PE 電纜介紹

交連 PE 電纜<sup>[2]</sup>係以交連聚乙烯(Cross-linked Polyethylene)為絕緣體、銅線為遮蔽、聚氯乙烯(Polyvinyl Chloride)為被覆之單心銅導體電力電纜，其由內至外主要結構包括銅導體、半導體性布帶、內半導體層(導體遮蔽層)、XLPE 絕緣體(Insulation)、外半導體層(絕緣體遮蔽層)、止水層、金屬遮蔽層、繃紮帶、遮水層與 PVC 被覆層等，如圖 1 及圖 2 所示。

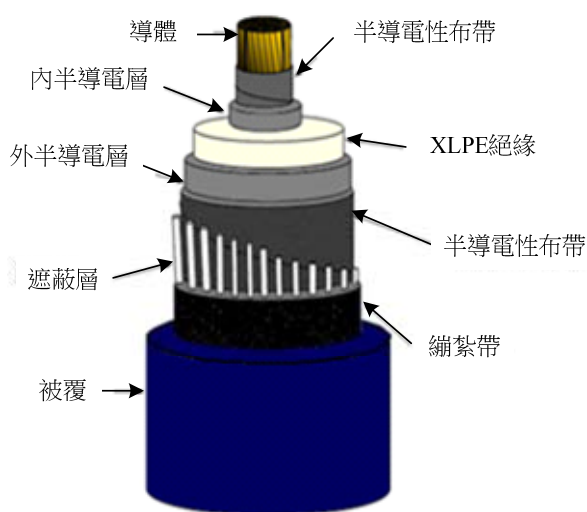


圖 1 161kV 交連 PE 電纜結構示意圖

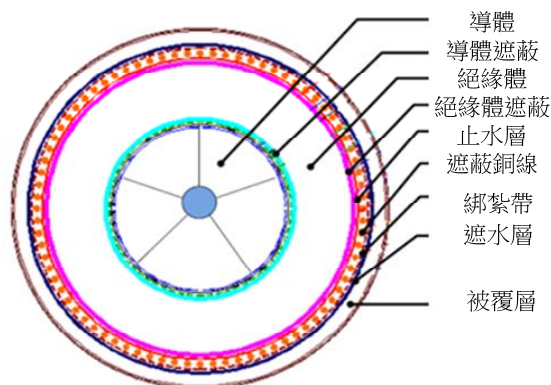


圖 2 161kV 交連 PE 電纜剖面示意圖

161kV 交連 PE 電纜每一層的結構體均以一同心圓方式形成，主要目的是將電流路徑控制於導體內傳輸，並將電位限制於絕緣體與導體之間，使絕緣體電壓梯度分佈均勻，以防止洩漏電流及電位湧升所造成之電纜被覆及絕緣體劣化，確保系統線路安全與供電可靠，其主要結構層概述如次：

### 一、導體

導體材質須為電氣用無鍍錫軟銅線 (Stranded)，且凡導體公稱截面積大於或等於  $800\text{mm}^2$  者須為四或五分割壓縮圓形。另分割導體間須沿縱向放置分割帶 (Segment Tape)，於分割導體絞合後之上層再纏繞不吸濕之半導體性帶。

### 二、導體遮蔽層 (Conductor Shielding)

導體遮蔽層亦稱「內半導體層」，其包含導體之半導體性帶及押出型半導體性交連 PE (Extruded Semi-conductive Cross-linked Polyethylene，稱為內部半導體層)。內部半導體層須為光滑之圓柱形，且須與絕緣體緊密接合。內部半導體層之容許運轉溫度至少須與絕緣體之規定溫度相等。

### 三、絕緣體 (Insulation)

絕緣體材質為固態性 (Solid Dielectric Thermosetting) 交連聚乙烯 (XLPE)，此 XLPE 絕緣體具有良好的高電阻率、耐熱性、可塑性、耐電暈性及低吸水性等多項特性，製造過程不容許有雜質，其清潔度要求高，倘內部有雜質成分時，電纜在電力輸送電壓超過雜質起始放電電壓時，會在此雜質形成高應力而導致絕緣體快速破壞甚崩潰擊穿，使得電纜壽命降低。另絕緣體須為無添加劑押出型交連聚乙烯，且絕緣體須適用於導體運轉容許最高溫度，亦即正常時可達  $90^\circ\text{C}$ ，緊急時可達  $105^\circ\text{C}$ ，短路時可達  $230^\circ\text{C}$ 。

### 四、絕緣體遮蔽層 (Insulation Shielding)

絕緣體遮蔽層係採用半導體性材料，亦稱

「外半導電層」，其功用為由導體中心外徑均勻弱化遞減電場強度，以同心圓方式往外發散成輻射狀並以對稱放射分佈，直到絕緣遮蔽層低電位中止。亦即絕緣遮蔽層讓絕緣體內部的電位線均勻地對稱放射，其須與絕緣體連續緊密接合，故內部半導電層、絕緣體及外部半導電層須三層連續同時押出，層間之界面須為圓筒狀且不得有任何尖突或雜質。

### 五、止水層(Water-block Swelling Layer)

止水層係於外部半導電層上面，纏繞一層厚度約 0.4mm 之半導電性不織布止水帶(Semi-Conductive Nonwoven Water-block Swelling Tape)，其功用係做為縱向止水之保護。止水層纏繞的重疊率，不得小於 止水層寬度之 10%。

### 六、遮蔽銅線(Copper Shielding)

遮蔽銅線係於止水層上面，纏繞一層同心鍍錫軟銅線(Tin-coated Annealed copper Wire)，以做為遮蔽之用，也稱為中性遮蔽層。此遮蔽層與接地環或接地線相銜接，並與大地同電位。遮蔽銅線之截面積須能承受系統單相故障電流(Single Phase Earth Fault Current)50kA 持續時間 0.4 秒。

### 七、繃紮帶(Binder Tape)

繃紮帶係於遮蔽銅線上面，纏繞一層厚度約 0.2mm 之半導電性布帶，以做為繃緊紮實各內層構件之用，其纏繞重疊率不得小於繃紮帶寬度之 10%。

### 八、遮水層(Water Impervious Layer)

遮水層係於繃紮帶層上面，以縱向的方式連續包捲一層厚度約 0.2mm 之金屬積層帶(Metal Foil-plastic Laminated Tape)做為徑向的遮水保護，其包捲後重疊處須確實完全密封，且其金屬箔與 PVC 被覆接觸之表面尚須塗以非導電性膠(Coated With Non-conductive Plastic Film)處理。

### 九、被覆(Jacket)

被覆層係於遮水層包捲後，再於其上面押出一層黑色聚氯乙炔(Extruded Black Polyvinyl Chloride)之被覆保護層。且被覆外層尚須添加一層導電石墨以做為電纜實施被覆完整性高壓測驗(D.C. High Voltage Sheath Integrity Test)時的電極之用。

## 參、161kV 交連 PE 電纜接續匣介紹

### 一、電纜接續匣型式

(一) 目前 161kV 交連 PE 電纜接續匣，依產製廠家之不同，概分「預鑄型」如圖 3 所示及「預模型」如圖 4 所示兩類<sup>[3]</sup>。2008 年實施輸電級電纜及附屬器材國產化後，原大量使用之「預鑄型」接續匣，已改採「冷縮型」或稱「預模型」One Piece 接續匣。

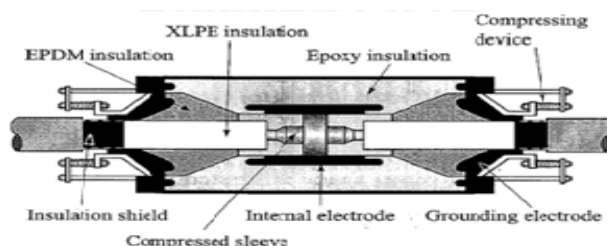


圖 3 預鑄型接續匣平面圖

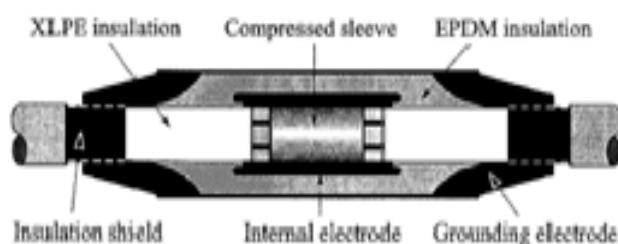


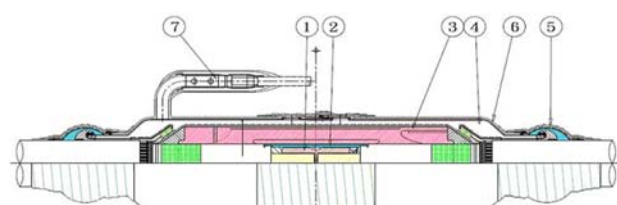
圖 4 預模型接續匣平面圖

(二) 國產化「冷縮型」或稱「預模型」One Piece 接續匣，其與「預鑄型」之最大差異，係將應力錐結構直接預先成形於冷縮橡膠本體 (Rubber Unit) 內。而銅導體接續部分，則利用壓接套管(Sleeve)壓接，壓接套管壓接後，



上方再以半導電膠帶纏繞。半導電膠帶外層另尚有一金屬電暈遮蔽管(Cover)，以增加組件之整體平整性。該型式接續匣的安裝施工，已能大幅簡化傳統之「預鑄型」需於現場實施二次施作之工法，因而提高接續匣施作效率及降低施工成本。

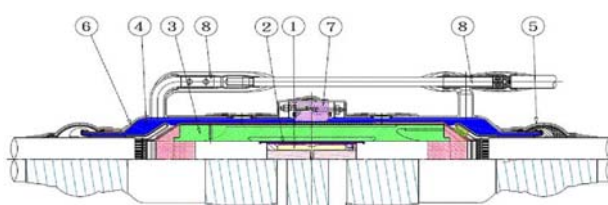
(三) 台電公司目前使用之「冷縮型」或稱「預模型」One Piece 接續匣，依使用目的可分為兩



項次	材料名稱
1	導體接續管
2	電暈遮蔽管
3	冷縮橡膠個體
4	防水混合物
5	防水膠帶
6	保護銅管
7	接地端子



圖 5 普通接續匣實體圖



項次	材料名稱
1	導體接續管
2	電暈遮蔽管
3	冷縮橡膠個體
4	防水混合物
5	防水膠帶
6	保護銅管
7	環氧樹脂絕緣筒
8	接地端子



圖 6 絕緣接續匣實體圖

種型式，一為「普通接續匣」NJ(Normal Joint)，其係於電纜一般直線連接時使用，將接續匣兩側之金屬被套保持連續，剖面與相關材料，詳如圖 5 所示。另一則為「絕緣接續匣」IJ(Insulation Joint)，此係採接續匣兩側之金屬被套絕緣分開，使其不能相互連通，以達減低被套之電位上昇及被套損失之作用，其剖面及材料，詳如圖 6 所示。

## 二、電纜接續匣絕緣材料

(一) 目前冷縮橡膠本體之絕緣材料有矽橡膠(Silicone Rubber)及乙丙烯橡膠(Ethylene Propylene Rubber)兩種。惟其共同特點為穩定性高，兩種橡膠之聚合物皆可經由配方調整需求之特性，如耐熱性、耐候性、耐寒性、耐電性及耐化性等。另冷縮橡膠本體係利用材料之自縮力，達到橡膠本體與電纜介面緊密結合所需之壓力，以避免表面殘留氣隙，藉以符合電氣要求，此亦稱橡膠本體與電纜介面之協調性。乙丙烯橡膠較不具柔軟性，

所需界面壓力較小(約 0.05MPa)即可克服電纜表面殘留氣隙之風險；矽橡膠因較具柔軟特性，所以需較大界面壓力(約 0.25MPa)始能克服電纜表面殘留氣隙之風險。

(二) 冷縮橡膠本體製程，主要包含兩階段；第一階段為內導生產過程，第二階段為絕緣體生產過程。依矽聚合物及乙丙烯聚合物之不同材質，其界面接合技術即有相當大之差異。矽橡膠聚合物，於複合接合界面須利用界面耦合劑達到絕緣體與內、外導電極複合界面之完全接合，因矽橡膠聚合物抗張強度較低，所以複合界面較易出現弱鍵結性，致常

於解剖故障接續匣時，發現矽橡膠本體與絕緣體之內外導電極有明顯嚴重的分離情形。反之乙丙烯橡膠聚合物抗張強度較高，所以複合界面較不易出現弱鍵結之情形，實務上於解剖該項材質之故障接續匣時，亦確未發現有橡膠本體與絕緣體之內外導層剝離之情形。因此乙丙烯橡膠材質之協調性應優於矽橡膠材質之協調性<sup>[4]</sup>。

### 肆、電纜被覆保護裝置介紹

電纜被覆保護裝置之功能，係確保每區間電纜遮蔽層之最大感應電壓，不大於安全容許電壓 (65 V) 而設置。倘若有特殊長距離或長尺化之電纜設計，其遮蔽層感應電壓有超過 65 V 之虞時，即以三段電纜為一區間，採換相方式設計，藉由遮蔽銅線之交錯連接(Cross-bonding) 及單端接地(Single Point Bonding)方式，消除遮蔽銅線上的感應電壓，避免感應電壓過大。本保護裝置之保護元件 (Valve Elements) 須為非線性電阻型 (Non-linear Resistor Type) 氧化鋅(ZnO) 元件，且須有適當防潮殼保護，目前電纜被覆保護裝置的規劃設計使用可分為下列四種：

#### 一、XB 型保護裝置

交錯連接用 XB 型保護裝置 (Protective Device for Cross-bonding) 如圖 7 所示；其係使用於絕緣接續匣人孔處，將三相電纜之遮蔽銅線以同心接地電纜 (Concentric Bonding Cable) 連接於本保護裝置，其箱內之接線則依 R-S-T 相序換位 (Transposition) 後，經保護元件接地。



圖 7 XB 型保護裝置實體圖

#### 二、SB-2 型保護裝置

單端接地用 SB-2 型保護裝置 (Protective Device for Single Point Bonding) 如圖 8 所示；此單端接地用保護裝置係使用於絕緣接續匣人孔處，將兩段之電纜遮蔽銅線隔離，設計為二個獨立單端接地，保護裝置則裝設於遮蔽銅線非接地端。

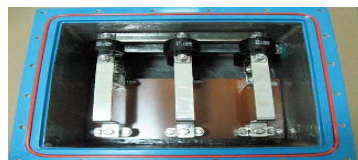


圖 8 SB-2 型保護裝置實體圖

#### 三、SB-1 型保護裝置

單端接地用 SB-1 型保護裝置 (Protective Device fo Single-point Bonding) 如圖 9 所示；此保護裝置係使用於電纜終端處，將電纜之遮蔽銅線設計為單端接地之開路端，本保護裝置係同時裝設三相之保護元件。



圖 9 SB-1 型保護裝置實體圖

#### 四、SB-S 型保護裝置

單端接地用 SB-S 型保護裝置 (Protective Device for Single-point Bonding) 如圖 10 所示；其係使用於電纜終端處，將電纜之遮蔽銅線設計為單端接地之開路端。另亦使用於絕緣接續匣人孔處，將兩段之電纜遮蔽銅線隔離，設計為二個獨立單端接地，保護裝置則裝設於遮蔽銅線非接地端。該保護裝置僅裝設單相之保護元件。

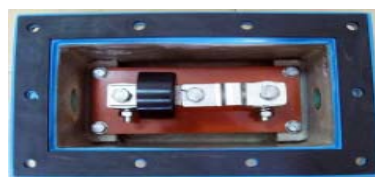


圖 10 SB-S 型保護裝置實體圖

## 伍、161kV 交連 PE 電纜接續作業及重點維護工作介紹

所謂電纜「接續」作業，即係將兩條電纜的兩端，於製造工廠外之工地，重新建置成一條電纜的組裝作業稱之。其過程需為高度嚴謹與精密的，接續作業之每組接續匣，均應附有完整的組立安裝所需之配件及相關處理材料，例如半導體性帶、自黏性帶、PVC 帶、防蝕帶、施工消耗性之材料如拭紙、清潔劑、砂紙、鋁箔、麥拉帶、石綿帶等<sup>[5]</sup>。

### 一、接續作業

(一) 電纜加熱整直；電纜加熱整直係屬接續作業前的重要關鍵工項之一，其結果將影響整體接續之品質。尤其整直過程的電纜加熱溫度應保持在 80°C 且至少 1.5 小時以上，使彎曲部位得以完全整直，並達到以 600mm 之直規壓檢量測，其彎曲度於 5mm 以下之規定，如圖 11 所示。其主要功用係使接續段能保持直線狀態，避免因電力錐安裝壓面之壓力不均，致絕緣體表面與電力錐有間隙現象，而造成電力線分佈異常而影響供電安全。

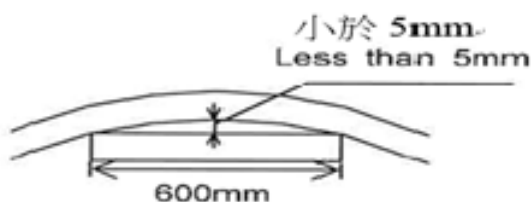


圖 11 電纜加熱整直示意圖

(二) 絕緣體平滑處理；絕緣體表面之平滑處理，應屬接續過程的最關鍵點，因其係處重要之電界場域，不容許有任何尖凸或傷痕，施工過程務需由經驗豐富且完全熟悉接續之技師負責指導安裝施工。尤其是將絕緣體表面及外半導體層利用玻璃(刀)片及砂紙研磨至

規定值之施作過程，除最終外徑需考量電力錐的內徑尺寸外，絕緣體表面的光滑程度尚需達到鏡面般的要求，以防止任何氣泡殘留於組件安裝後的電纜絕緣體表面。

- (三) 導體銅套管壓接；導體銅套管壓接務須確認壓縮鋼模之規定尺寸正確無誤，壓接前需先將兩側之組件如防水熱縮套管(H.Stube)、絕緣筒(Insulation Flange)、橡膠本體等穿入電纜。另橡膠組件穿入電纜過程應特別小心施行，以防止任何組件損傷，尤其是電纜絕緣層、O 型環、環氧樹脂凸緣等。161kV 交連 PE 電纜之接續應使用 200 噸油壓機，壓接套管(Sleeve)時，應由導體套管側邊依次往中心壓縮，且壓模與導體須成垂直始能進行壓縮作業。
- (四) 橡膠本體安裝；安裝前應確認橡膠本體置放於規定尺寸內，始可將橡膠本體內之支撐管線拉出。因橡膠本體安裝後即無法拆解重新組立，需破壞橡膠本體始可進行拆解重組，故安裝過程需由經驗充足之接續技師負責指導，並由訓練合格且完全熟悉各施工步驟之施工人員安裝，始能確保其品質符合規範之要求。
- (五) 遮蔽線處理；161kV 交連 PE 電纜遮蔽線處理係將 80 條的遮蔽銅線分成 10 條 8 束，使用 L 型壓接端子壓接，於壓接完成後再固定於電力錐壓縮裝置，接續匣之安裝即屬完成。
- (六) 接地裝置；電纜線路為消除感應電壓，當線路接續超過三個區間時，即需施作遮蔽銅線交錯接地。但為防止循環電流引起被覆過熱致破壞絕緣，因此兩端不得同時接地。其一端必須浮接(Floating)，另一端則裝設保護元件以防止過電壓。亦即將每三個區間作一完全換相區間，將三相遮蔽銅線以 R-S-T 相序換位(Transposition)，經 CCPU 之保護元件(SVL)接地，其換相方式如圖 12 所示。

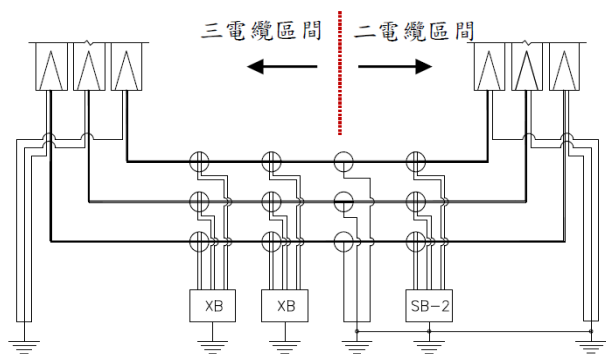


圖 12 接地裝置換相方式接線圖

## 二、接續匣之重點維護工作

依據台電公司供電單位作業程序書「輸電線路點檢作業程序」等之規定，接續匣的重點維護工作項目包括「紅外線溫度檢測」、「被覆循環電流量測」、「CCPU 非線性電阻元件絕緣電阻量測」及「部分放電(Partial Discharge)檢測」。其點檢週期，則依設置之區域而定，其規定分別如下：

- (一) B 級區亦即鹽分附著量  $0.0625\sim 0.125\text{ mg/cm}^2$  地區(約為離海岸距離 10~30 公里)一般 3 年點檢一次。
- (二) C 級區亦即鹽分附著量  $0.125\sim 0.25\text{ mg/cm}^2$  地區(約為離海岸距離 3~10 公里)地下水污染區如沿海鹽害地區 2 年點檢一次。
- (三) D 級區亦即鹽分附著量  $0.25\sim 0.5\text{ mg/cm}^2$  地區(約為離海岸距離 0~3 公里)人孔內重污染區含鹽害腐蝕嚴重地區 1 年點檢一次。
- (四) E 級區亦即鹽分附著量  $0.5\text{ mg/cm}^2$  以上地區

(約為離海岸距離 0~1 公里)特殊環境地區(有白蟻)區每半年點檢一次。

於實施上開點檢時，應配合測試 C.C.P.U 接地電纜循環電流並紀錄各區間接地電纜循環電流值，且應持續加以追蹤管控，以確認電纜被覆保護裝置之功能正常。

## 陸、台電公司近 15 年來 161kV 交連 PE 電纜接續匣事故統計分析

### 一、接續匣之事故次數

台電公司既設之 161kV 交連 PE 電纜接續匣，近 15 年來(亦即自 90 年迄 104 年止)共發生事故 41 次<sup>[6]</sup>；列舉部分國產化接續匣之事故線路、事故時間、事故時機、事故相別、事故接續匣之廠牌及型式等，如表 1 所列。

### 二、事故接續匣之運轉使用時間

分析 41 次之 161kV 交連 PE 電纜接續匣之事故，從其加入系統日開始計算至發生事故日，實際的運轉使用時間均於 10 年以下，其中有 27 次之事故接續匣，其運轉使用時間未滿 5 年，占 66%；餘 14 次之運轉使用時間介於 5 至 10 年之間，占 34%，其與至少 30 年耐用年限之設計(比照電纜)，顯有相當之差距。詳如表 2 所列。

表 1 接續匣事故次數統計表

項次	事故線路	事故日期	事故時機	事故相別	事故接續匣	
					廠牌	型式
1	仁德~二甲紅線	103.03.28	投切時	T'	V 廠牌	冷縮型
2	中壢~五權白線	103.4.16	供電中	T	洋廠牌	冷縮型

表 2 事故接續匣之運轉使用時間表

加入系統至故障之時間、次數及占比						
運轉時間(年)	1 以下	1~2	2~3	3~4	4~5	5~10
次數	5	11	5	3	3	14
占比(%)	12	28	12	7	7	34



### 三、事故接續匣之型式與材質

(一) 分析 41 次之 161kV 交連 PE 電纜接續匣事故，其中有 38 次係屬「冷縮型」或稱「預模型」One Piece 接續匣，占 93%；餘 3 次為「預鑄型」接續匣占 7%，爰此，僅就依接續匣之型式而論，「冷縮型」或稱「預模型」One Piece 接續匣之事故率，遠高於「預鑄型」接續匣，詳如圖 13 所示。又 38 次的冷縮型 One Piece 接續匣事故，屬於矽橡膠材質者有 34 次，占 38 次的 89%，餘之 4 次為乙丙烯橡膠材質，占 38 次的 11%。亦即「冷縮型」One Piece 矽橡膠材質之接續匣事故次數，占接續匣總事故次數之 83%，其事故率確實遠高於「預鑄型」(7%)及冷縮型乙丙烯橡膠(10%)，故「冷縮型」One Piece 矽橡膠材質之接續匣，儼為電纜線路之弱點所在。詳如圖 14 所示。

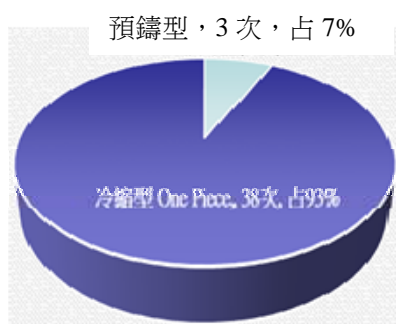


圖 13 事故接續匣型式分析圖

冷縮型 One Piece 乙丙烯橡膠，4 次，占 11%



圖 14 事故接續匣材質分析圖

(二) 分析 41 次之 161kV 交連 PE 電纜接續匣事故，預鑄型接續匣之裝設數量事故率為

0.05%、「冷縮型」One Piece 矽橡膠接續匣之裝設數量事故率為 0.43%、「冷縮型」One Piece 乙丙烯橡膠接續匣之裝設數量事故率為 0.09%，顯矽橡膠接續匣事故率確屬偏高。詳如表 3 所列。

表 3 各型式及材質接續匣裝設數量事故分析表

項目	預鑄型接續匣	冷縮型 One Piece 接續匣	
		矽橡膠材質	乙丙烯材質
裝設數量(組)	6,592	7,938	4,237
故障數量(組)	3	34	4
事故率(%)	0.05	0.43	0.09

(三) 分析 34 次 161kV 交連 PE 電纜矽橡膠接續匣事故之供應商的裝設數量事故率分別為：V 廠牌者為 0.81%、洋廠牌者為 0.22%、B 廠牌者為 1.54%、E 廠牌者為 0.56%，就裝設數量故障組數分析結果，B 廠牌之事故率最高。詳如表 4 所列。

表 4 各廠牌接續匣裝設數量事故分析表

項目	V 廠牌+洋廠牌	B 廠牌	E 廠牌
裝設數量(組)	6,040(991+5,049)	519	1,255
事故數量(組)	19(8+11)	8	7
事故率(%)	0.31(0.81 ; 0.22)	1.54	0.56

### 四、接續匣事故之時機與相序別

(一) 分析 34 次之 161kV 矽橡膠接續匣事故，其故障時機分別為：CB 投切過程中發生者有 20 次、線路持壓中發生者有 2 次、線路正常供電中發生者有 12 次，詳如圖 15 所示；另事故分佈之相別分別為：T 相 20 次、S 相 12 次、R 相 2 次，其中 R 相之 2 次事故，係於線路持壓中及線路正常供電中所發生，詳如圖 16 所示。

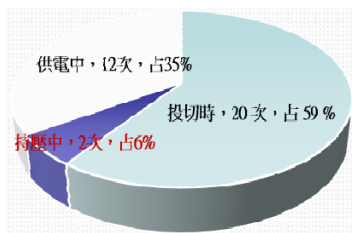


圖 15 事故時機分佈圖

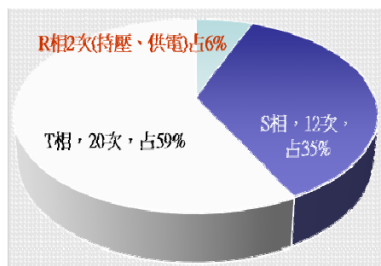


圖 16 事故相序分佈圖

(二) 分析 41 次之接續匣事故，於 CB 投切過程發生者計有 20 次，除未發生於 R 相外，也均屬矽橡膠接續匣。亦即「預鑄型」及乙丙烯橡膠接續匣，均未曾於 CB 投切過程中發生事故，顯矽橡膠材質接續匣，針對 CB 投切

較為敏感，相對「預鑄型」及乙丙烯橡膠接續匣之表現則較為穩定。列舉部分之線路名稱、事故日期、事故接續匣相別及廠牌，如表 5 所列。

表 5 CB 投切過程中之事故分析表

項次	線路名稱	事故日期	事故接續匣	
			相別	廠牌
1	高雄~捷五白線	101.2.22	T	E 廠牌
2	文心~中西紅線	101.12.24	T'	B 廠牌
3	水滄~昌平線	102.11.6	T	洋廠牌
4	仁德~二甲紅線	103.3.28	T'	V 廠牌

### 五、接續匣安裝施工不良之事故

161kV 矽橡膠接續匣於供電中及持壓中發生事故者計 14 次，經再檢視該等事故接續匣之解剖分析資料後，事故原因列屬於「施工不良」者，其中 10 次確實有明顯之施工瑕疵情形，主要樣態包刮刀傷、絕緣體尖突、滲水等情況。列舉部分之線路名稱、事故日期、事故相別、事故廠牌及解剖結果等摘要，如表 6 所列。

表 6 施工不良之事故分析表

項次	線路名稱	事故日期	事故相別	事故接續匣廠牌；解析結果
1	美山~九曲線	100.2.20	S	洋廠牌；C-Tape 外徑與絕緣體外徑差 9mm。
2	松樹~隆恩白線	100.12.4	R	B 廠牌；B50 絕緣膠帶有明顯滲水水漬。

### 六、接續匣事故好發的線路組態

(一) 分析 34 次矽橡膠接續匣事故，其中有 24 次係重複發生於「系統末端 GIS~GIS 的輕負載之全電纜線路」(即無連接站之設置者)，合計

11 回線。且其事故發生的時機與 CB 投切的頻率(次數)均成正相關。列舉部分事故之線路名稱及其歷年來之最高與最低負載、事故發生時該線路已投切之次數，如表 7 所列。

表 7 事故好發的線路組態分析表

項次	線路名稱	最高負載(A)	最低負載(A)	事故日期及 CB 投切較高端的 D/S 之次數
1	桃園~鳳鳴紅線	262	105	(1).99.1.21.鳳鳴 D/S 投切 38 次 (2).99.7.31.鳳鳴 D/S 投切 58 次 (3).103.5.26.鳳鳴 D/S 投切 89 次
2	仁德~二甲紅線	352	221	(1).98.1.14.二甲 D/S 投切 29 次 (2).98.12.7.二甲 D/S 投切 55 次 (3).103.3.28.二甲 D/S 投切 85 次

(二)統計發現設置於同路徑(管路)的 161kV 交連 PE 電纜兩回線，倘屬分別使用矽橡膠與乙丙烯橡膠材質接續匣者，發生事故之回線均為矽橡膠材質之接續匣，顯矽橡膠材質之穩定性有亞於乙丙烯橡膠材質之傾向。詳如表 8

所列。

(三)統計亦發現，佈設於同路徑(管路)的 161kV 交連 PE 電纜兩回線，倘均屬使用矽橡膠材質接續匣者，兩回線亦均發生事故。詳如表 9 所列。

表 8 設置同路徑使用不同材質接續匣事故分析表

線路名稱	冷縮型 One Piece 接續匣		發生事故 次數(迄 104.12.31 止)
	矽橡膠材質	乙丙烯橡膠材質	
中壢~五權白線	v		4
中壢~五權紅線		v	0
仁德~二甲紅線	v		4
仁德~二甲白線		v	0

表 9 設置同路徑使用同材質接續匣事故分析表

線路名稱	冷縮型 One Piece 接續匣		發生事故 次數(迄 104.12.31 止)
	矽橡膠材質	乙丙烯橡膠材質	
虎科~虎菁一路	v		1
虎科~虎菁二路	v		2
文心~中西紅線	v		3
文心~中西白線	v		5

(四)針對接續匣事故好發的線路組態，經多次邀集國產化電纜廠家、洋廠牌與日本 V 廠牌等研討，且經比對屬 CB 投切過程中發生事故之接續匣的原料採購時程、批號、序號等等之資料，分析後發現有極少數矽橡膠接續匣係因絕緣原料的攪拌不足(半自動製程)，於遇 DC+Simp(直流殘壓+投入時之過電壓)其絕緣特性會明顯驟降而導致絕緣崩潰。再經確認有仁德~二甲紅線、水滸~昌平線、烏日~學田線、中壢~五權白線計四回線設置有該類接續匣。

時耐壓試驗等之過程均合理並不會造成異常暫態之產生，故系統之操作與電纜接續匣之故障沒有直接關聯性。例如 IEC62271-100 斷路器之強制性規範，閉合動作小於 1/4 cycle、斷開動作小於 1/6 cycle，於該條件下線路所衍生之電氣暫態電壓均於 2PU 以內；另研究亦發現於 150 次的全電纜線路實施開關投切，其所衍生之突波電壓，大於 500kV(3.63PU)者僅有 4 次，但均未超過依據 IEEE std-1313.1 規範推估 161kV 系統 BSL 為 589kV(4.27PU)；又經現場實測「161kV 文心~中西白線」在 CB 投入時，其電壓與電流波形，均未有發現明顯之再襲狀況，且突波電壓與電流也均於正常範圍內；再經模擬 CB-Open 後，以 ES 放電及 LPT 放電效果之差別，其最大差異僅於 LPT 放電效果較即時(約 100~200mS)，而 ES 放電則需間隔數分鐘，惟這數分鐘之「極化」係屬絕緣材料於正常操作之容許規範，其不致影響正常的電纜設備之絕緣能力。詳如表 10 所列。

## 柒、相關國際規範、文獻或研究發現

經檢討與輸電級電纜接續匣故障有關之國際規範、文獻或研究發現等，確認台電公司之系統，依目前的操作方式，包含操作前之整備、商頻耐壓試驗、對相試驗、AC 耐壓試驗及 24 小



表 10 相關國際規範、文獻或研究發現摘要表

文獻或研究	結論或發現
IEC62271-100 <sup>[7]</sup>	斷路器閉合/斷開時間(Close/open time)同步接觸(相 vs.相之間)之強制性規範，閉合動作 < 1/4 cycle、斷開動作 < 1/6 cycle，於此條件下線路所衍生之電氣暫態電壓均於 2PU 以內，遠低於依據 IEEE std-1313.1 規範推估 161 kV 系統 BSL 值 589kV (4.27PU)暨 750kV(5.5PU)之 BIL 值。
台電公司系統規劃處「電纜開關突波電壓」檢討報告 <sup>[8]</sup>	99 年 2 月 5 日針對「電纜開關突波電壓」之檢討報告以開關突波最嚴厲的分析條件，於 150 次再加壓的開關突波模擬分析結果，大於 500kV(3.63PU)僅有 4 次，但均未超過依據 IEEE std-1313.1 規範推估 161kV 系統 BSL 為 589kV(4.27PU)，顯見開關突波不致造成正常材質的接續匣事故。
台電公司供電處「文心~中西(白)線 161kV 交連 PE 電纜線路」修復及電力系統操作面對接續匣故障影響評估之研究 <sup>[9]</sup>	一、研究團隊再檢討確認，台電公司之系統依目前的操作方式，包含操作前之整備、商頻耐壓試驗、對相試驗、AC 耐壓試驗及 24 小時耐壓試驗等之過程均合理並不會造成異常暫態之產生，與接續匣之故障沒有直接關聯性。
	二、經實測「文心~中西白線」之電壓與電流波形，在 CB 投入時，並未有明顯之再襲狀況，突波電壓與電流也均在正常範圍內。模擬當發生故障時，電壓升及故障電流也無異常，健全相電壓湧升約略為 37kV(133kV 上升至 170kV) 未有超出 AC 耐壓 (2.5U0-218kV-30min)之範圍，且於 2~4 cycle 保護電驛即動作而跳脫，系統不會持續暴露於異狀下，故不致影響正常的絕緣設備。
	三、模擬 CB 在各種不同角度投入，均沒有發生異常的暫態突波電壓及電流，且 CB 投入時 CCPU 亦無異常之電壓與電流通過，所以 CB 之投入不會對正常系統設備造成影響，亦即系統操作之暫態現象與接續匣故障無直接關連。
	四、模擬 CB-Open 後，以 ES 放電及 LPT 放電之效果，其最大差異於 LPT 放電效果較即時(約 100~200ms)，幾乎等同於 CB 斷開後就開始放電，而 ES 放電則需間隔數分鐘，於手動投入後才開始放電，惟這幾分鐘之「極化」屬正常操作之容許範圍，不致影響正常的電纜設備之絕緣能力。

### 捌、防範事故再發具體改善對策

本專題整合台電公司既設之 161kV 交連 PE 電纜接續匣事故的統計、分析、相關國際文獻、有關之研究結論、廠家絕緣材料調查等等之背景資料及各項數值。針對裝設數量故障率高達 0.43%之 161kV 交連 PE 電纜冷縮型 One Piece 矽橡膠材質接續匣事故之防範與杜絕，分別於契約、施工、預防、原料、工安等五項構面，研提釐訂相關之具體改善對策，茲分述如下：

#### 一、契約面

(一) 採購契約明訂得標廠商應辦理教育訓練，針

- 對施工圖面及各項尺寸於開工前先行辦理訓練，對象應包含工地負責人、品管人員、協力廠商接續施工人員、台電公司工程檢驗員及維護單位人員等，該訓練時數不得少於 4 小時，凡未參加教育訓練者不得進場施工。
- (二) 161kV 技師(安裝督導)及施工人員，須於每兩年內參加由電纜附屬器材廠家所舉辦之訓練，並須事先向台電公司報備 8 小時之在職訓練講習。全程參加講習並通過測驗之人員，由電纜附屬器材廠家發給結訓證明。
- (三) 倘電纜線路事故肇因屬「施工不良」者，台電公司擁有得暫停該技師參加台電公司所有特高壓電力電纜工程施工 2 年以內之處分權利。

- (四) 針對國產化之接續匣廠，倘五年內發生品質不良原因故障達三次者，依據台電公司「電力設備器材廠商承製能力審查作業及合格廠商管理要點」取消其承製能力資格。

## 二、施工面

- (一) 接續匣組立環境要求濕度 80% 以下(未能符合要求者暫停接續作業)、溫度 28°C 以下(不易流汗環境)、接續人孔入(出)口設置阻隔異物及揚塵之設施。
- (二) 作業人員穿著無塵衣及禁止配帶金屬或可能造成電纜外傷之配件。
- (三) 施工單位於電纜關鍵性器材施工前將工程進度主動告知接管單位，使接管單位能視業務情形赴現場確實了解接續匣之實際施工情形。
- (四) 管控每日工班之接續匣施工量以 2 組為限，以避免趕工致施工品質粗糙。
- (五) 新設接續匣安裝過程之五大關鍵點(電纜與橡膠本體裝著後相對位置尺寸、電纜絕緣體外徑尺寸、C-Tape 半導電體外徑尺寸、導體壓接尺寸、壓接銅套管表面處理)實施駐留檢驗並壓尺規拍照存查。
- (六) 「組立施工紀錄表」內之「管理項目」的「紀錄及良否判定」欄位，一律修正改以「施工完成之實際數值」紀錄，不再以勾選「良、否」方式紀錄。
- (七) 得標廠商技師派遣應配合台電公司通知之進場工班數量，以確實督導施工進行。

## 三、預防面

針對既設於線上確認屬攪拌不足(半自動製程者)之接續匣，全數實施預防性汰換，相關工料費用由產製廠家全額負擔。另汰換後之保固，依循台電公司「A 046 標準材規」規定。(例如 161kV 仁德~二甲紅線、161kV 水滸~昌平線、161kV 烏日~學田線、161kV 中壢~五權白線)

## 四、原料面

- (一) 新製 161kV 矽橡膠接續匣增加「原料製造商攪拌工程的改善(全數以全自動製程)以排除攪拌不足」、「每批材料入料時均取樣加熱 200°C 持續 13 小時，用 100 倍數位顯微鏡觀察確認攪拌狀態」等檢証機制。
- (二) 提升 DC、AC、Imp 之耐壓試驗強度 1.1 倍。
1. DC 耐壓試驗：435kV×15 分鐘  
(395kV × 1.1)。
  2. AC 耐壓試驗：253kV×6 小時  
(230kV × 1.1)。
  3. Imp 耐壓試驗：825kV×10 次  
(750kV × 1.1)。

## 五、工安面

人員進入人孔進行電纜線路點檢量測作業時，務必於「停止要求書」或「活線作業要求書」，載明共架線路名稱，並請轄屬之「區域調度中心」(ADCC)配合於工作期間，不宜操作投切其斷路器，避免因接續匣事故高溫波及人孔內工作人員，以確保工作安全。

## 玖、結語


- 一、檢視相關國際規範、文獻、研究結論、實際量測及模擬等之結果，證實台電公司系統依目前的操作方式，包含商頻耐壓試驗、對相試驗、AC 耐壓試驗及 24 小時耐壓試驗等之過程均不致造成異常暫態之產生，亦即系統操作與接續匣之故障沒有直接關聯性。
- 二、經統計分析既設於台電公司 161kV 線路之「冷縮型」或稱「預模型」One Piece 矽橡膠接續匣事故次數，占 161kV 交連 PE 電纜接續匣事故次數之 83%，其裝設數量故障率達 0.43%。相較於「預鑄型」接續匣的 0.05% 及冷縮型 One piece 乙丙烯橡膠接續匣的 0.09%，確屬偏高。

三、為能有效防範杜絕 161kV 交連 PE 電纜「冷縮型」或稱「預模型」One Piece 矽橡膠接續匣事故之發生，除考慮潛在空間電荷之排放問題，建議地下電力電纜線路停電後，接地開關投入 30 分鐘以上，以充份排放介質中的殘餘電荷外<sup>[10]</sup>，應分別於契約、施工、預防、原料及工安等五大構面同步落實執行，始能確保供電及工作之整體安全。

### 拾、參考文獻

- [1] 蕭勝任，「地下電纜洞道巡查」，台電公司供電處 101 年輸電類技術報告暨優良案例-技術報告類第四篇，台北，2012 年 6 月。
- [2] 「161kV XLPE 電纜器材規範」，A046，台電公司，2006 年 4 月。
- [3] R. Bartnikas, Power and Communication Cables Theory and Applications, John Wiley & Sons, IEEE Press, 1909.
- [4] 成都森發橡膠有限公司，2015 年 12 月 22 日，<http://www.seafar.cn/zh-tw/>.
- [5] 台電公司供電單位工作指導書，161kVXLPE 電纜接續作業，2014 年 1 月。
- [6] 台電公司供電處 161kV 地下電纜線路事故案例，2016 年 1 月。
- [7] IEC 62271-100 High-Voltage Switchgear and Contolgear Part 100, 2008.
- [8] 台電公司系統規劃處「電纜開關突波電壓」檢討報告，2010 年 2 月。
- [9] 台電公司供電處「文心~中西(白)線 161kV 交連 PE 電纜線路」修復及電力系統操作面對接續匣故障影響評估之研究，2015 年 6 月。
- [10] 台電公司綜合研究所「地下電纜停復電操作對電纜接續匣或終端匣之衝擊研究」報告，2011 年 7 月。

### 台電工程月刊徵稿啟事

- 
- \* 為使本刊物之內容更臻完善，歡迎有關火（水）力發電、核能發電、再生能源、輸變電、配電、電力系統、能源與環境、化學與材料、資訊與電腦、工程技術及其他等相關論著、技術經驗及譯者踴躍投稿，以饗讀者。
  - \* 投稿相關事宜，若有任何疑問，請聯絡我們，謝謝您！

☎ (02)2360-1095 ✉ u117212@taipower.com.tw

# 應用大數據分析提升斷路器預防維護能力

Application of Big Data Analysis to Improve and Enhance CB Maintenance Performance

翁永財\*  
Weng, Yung-Tsai

陳毅哲\*  
Chen, Yi-Je

黃仁宗\*  
Huang, Ren-Zong

許豐仟\*  
Syu, Feng-Chien

黃金河\*  
Huang, Chin-Ho

陳怡文\*  
Chen, Yi-Wen

劉至瑄\*  
Liu, Chih-Hsuan

石吉亮\*  
Shi, Ji-Liang

蕭勝任\*  
Hsiao, Sheng-Jen

## 摘要

利用大數據分析在設備維護風險管理上可視為更精進之作法之一，有效對現有變電設備維護管理資料進行異狀分析，及早發現設備的弱點及劣化趨勢。本文將運用統計學的集中趨勢量數：眾數(Mode)、中位數(Median)、平均數(Mean)、變異數(Variance)等量數，分析斷路器的動作時間，以不同廠家、型式等條件計算各項數值，並透過專家系統來判斷，可以更有效率的發掘設備異常或是輸入資料錯誤，再藉由四種燈號(紅、橙、黃、綠)分級區分設備異常程度狀況，進而顯示設備異常的趨勢或等級，再以現場實地設備測試來驗證大數據分析結果，現場維護人員可透過該分析結果調整及安排設備維護計畫，以降低斷路器異常所造成的運轉風險及維護成本。

## Abstract

The weakness and crack trend of equipment can be discovered early by means of big data analysis, which has long been an efficient application to find out unusual records in a systematic process. The action time analysis on circuit breakers (CB) is demonstrated in this paper, and measurement of data distribution such as Mode, Median, Mean, and Variance widely used in statistics are adopted in our big data analysis. Big Data analysis is carried out using judgement standards of different factories and equipment types, which allow the analytical result to be further analyzed by an expert system so as to find out the unusual conditions of the equipment. Four alert signals - Red, Orange, Yellow, Green – are presented to indicate the extent of unusual state. The equipment crack trend can be predicted from this big data analysis. The results of the big data analysis were compared by the real equipment verification. This way, the maintenance worker can get earlier analytical results and arrange the equipment maintenance schedule to reduce the CB operation risk and improve the power system ability.

**關鍵詞(Key Words)：**大數據分析(Big Data Analysis)、斷路器(Circuit Breaker)、統計學(Statistics)、維護績效(Maintenance Performance)。

\*台灣電力公司輸供電事業部供電處

## 壹、前言

早期對變電所設備維護採用事後維護(Break-down Maintenance)方式，即當發生故障才進行檢修，之後發展為預防維護(Preventive Maintenance)，即事先安排一定時間進行大修或更換零件，以防止突發事故。電力設備由於運轉操作、使用年數、使用頻度及使用環境等影響，會逐年發生劣化，進而發生故障或事故。因此開關設備平常營運除依照電力系統運轉操作章則彙編規定，執行設備之操控、監視和事故隔離應變外，另依照變電設備維護手冊之規定實施檢查、維護以及更換配件等，以防止設備劣化導致停電事故發生。異常診斷係為這些電力設備之安全及有效的運轉而實施診斷，由日常運轉、檢查、維護及定期檢查結果等來診斷，並綜合判斷該設備是否良好。異常診斷也可提供設備故障時原因之分析判定、改善對策及水平展開的規劃等<sup>[1]</sup>。

從供電面觀點來看，只有一套設備且必須在一面工作(運轉)及一面維持能力(性能)下，採用特別管理方式，對不良設備發生時採取迅速的改正措施，稱為初期維護管理。維護方式分類如下：

### 一、時間基準維護(TBM)：

設備點檢作業以固定間隔時間為週期，時間一到即實施點檢檢查作業。

優點：全部設備不會漏掉檢查，如果點檢內容和週期時間契合搭配適當，可確保非常高可靠性。在故障率較高、維護管理簡單化之場合非常有效。

缺點：在故障率較低、設備性能仍然處在最佳狀態下，形成過度維護及不符經濟效益。

### 二、狀態基準維護(CBM)：

點檢作業由設備之工作狀況或外部診斷結果等資訊做綜合判斷，有效掌握設備之性能及異

常弱點，在其服役之必要時間點實施必要的精密點檢。

優點：和 TBM 相較，必要的精密點檢次數相對減少且週期合理適當，可節省維護成本。

### 三、緊急/應變維護：

當設備運轉中發生重警報、變壓器(含保氏、突壓、OLTC 63A 電驛或釋壓裝置動作等)或匯流排主保護電驛動作之跳脫事故、設備漏油、漏氣或遭受水災、火災、地震、颱風、急速污染等天然災害侵襲及其它故障後之維護。

變電設備包含變比設備、斷路器設備、電算設備及其他輔機設備等，截止 104 年底，供電單位之斷路器總數約有 15,000 台。當電力系統發生故障時，為了不要讓事故持續且擴大，造成電力系統崩潰及供電品質下降，就必須透過斷路器將故障點隔離，將影響範圍減至最低，進而提昇整體供電品質。

然而斷路器經過一段工作時間後，可能會因斷路器操作機構組件老化而產生劣化。另操作機構所使用的潤滑油亦可能因變質或硬化等，導致機構枯澀進而延遲斷路器的動作時間。潤滑油長期與金屬接觸，受到四周空氣、溫度、壓力、電場、光線及其他因素的影響，加上環境中有水分、灰塵、砂粒及金屬屑末的結合，產生化學變化而使得潤滑油變質黏稠或硬化，最後導致斷路器動作延遲甚至故障不動作<sup>[2]</sup>。

隨著經濟與科技的蓬勃發展，斷路器在電力系統中之數量及種類越來越多，因此斷路器維護管理之研究已成為各國電力公司的重要課題之一。供電處變電設備維護管理系統自 2008 年建置迄今，已登錄各供電區斷路器之內、外點檢紀錄資料達 20 萬筆，若將該紀錄利用大數據分析可有效對現有變電設備維護管理方式，提供更精進之作法，藉由維護資料來進行異狀分析，及早發現設備弱點及劣化趨勢，提供現場維護人員參考，適時調整及安排設備維護點檢時間，將可降低運轉風險及維護成本。

## 貳、大數據分析

### 一、大數據的介紹

大數據(Big Data)或稱巨量資料、海量資料、大資料，指的是所涉及的資料量規模巨大到無法透過人工或計算機，在合理的時間內達到擷取、管理、處理，並整理成為人類所能解讀的資訊。在總資料量相同的情況下，與個別分析獨立的小型資料集(Data Set)相比，將各個小型資料集合併後進行分析可得出許多額外的資訊和資料關聯性，可用來察覺商業趨勢、判定研究品質、避免疾病擴散、打擊犯罪或測定即時交通路況等，正是盛行的原因之一。另外，大數據是一個含義廣泛的術語，經由大數據分析可從研究大量數據的過程中尋找模式，關連性和其他有用的資訊，可以幫助管理者做出更明智的決策<sup>[3]</sup>。

### 二、R 程式語言的介紹

面對龐大且複雜的資料，需要專門設計的軟體工具進行處理大數據分析，分析的工具甚多如 Hadoop、HPC、Storm、Drill、RapidMiner、Pentaho BI、Python 及 R 語言。本文僅就使用之軟體 R 程式語言介紹，R 程式語言誕生於 90 年代初期，由奧克蘭大學的 Ross Ihaka 與 Robert Gentleman 所發展出來的，它是以 S 語言(誕生於 70 年代的貝爾實驗室，主要作者為 John Chambers)為基礎所發展出來的一個 GNU 專案，以免費且開放的方式釋出其原始碼，目前 R 這個專案是由 R Core Team 的二十位成員負責開發與維護<sup>[4]</sup>。R 語言本身是屬於高階的直譯式語言(Interpreted Language)，所以在程式執行之前，使用者不需要自己編譯程式，可以把心力全部投入在資料的分析上，不用去管太低階的電腦問題，就跟使用 Matlab 這類程式語言類似。

R 語言本身支援混合式的程式設計模式，在它的內部核心中是以指令式程式設計(Imperative Programming)來撰寫的(就像一般的指令稿，一行

接著一行執行)，但它也支援物件導向程式設計(Object-oriented Programming)與函數式程式設計(Functional Programming)。

R 語言的特色介紹如下：

- (一) 免費：R 是以開放原始碼的授權釋出的，完全免費。
- (二) 開放：R 是 S 語言的開放原始碼實做版本，可以將 S-plus 的程式碼直接放進 R 中執行。
- (三) 佔有率高：SAS 是最普遍被使用的統計軟體，但在學術界最普及的統計軟體是 R 與 S 語言。
- (四) 跨平台：R 可以在各種平台上運作，包含 Windows、Macintosh、Linux 等數十種平台。
- (五) 彈性大：R 是一種程式語言，使用者可以自行撰寫適合自己的分析程式。
- (六) 互動式：傳統的統計分析軟體，是將所有的統計分析過程一次做完，產生報表，而 R 可以互動式的一步一步處理，使用者可以依照每一步的結果而決定下一步該如何處理。

### 三、R studio 平台介紹

Studio R 是一套跨平台的 R 語言 IDE (Integrated Development Environment)，比一般僅安裝 R 語言的介面方便且清楚許多。Studio R 能透過建立一個 R 專案，並方便管理不同的 R 程式開發專案，支援程式碼自動完成。桌面版本之外，使用者也可以透過網頁瀏覽器登入 Server 的版本進行操作，Studio R 並提供 Shiny 套件，使 R 能支援顯示於瀏覽器。以下簡略說明 R Studio 的操作介面，圖 1 為 R Studio 的初始畫面，若只安裝 R 語言時，僅有圖 1 中的 console 而已，R studio 提供程式設計者程式撰寫環境、各筆資料形態及參數處理結果環境及其他輔助的環境等，再者，它提供方便程式設計者安裝功能套件，如圖 2，畫面中右下方為套件安裝頁籤，如果執行時發現缺少套件可在此做安裝或更新套件。如前述所提，開啟程式碼並檔案管理，基本







(一) 一般檢查：

1. 壓力開關校正。
2. 緩衝壺油位。
3. 絞鏈件衝程
4. 操作試驗。
5. 控制回路絕緣電阻。
6. 洩氣閥等。

(二) 細部點檢：

1. 消弧室：接觸子、噴嘴、內部清試及電容量量測。
2. 操作機構：操作唧筒氣閥組件、控制機構組件、閉合連桿及跳脫機構、緩衝壺組件、壓力錶及開關校正等。

(三) 電氣特性量測：

1. 絕緣及電力因數測定(如套管及絕緣操作桿、消弧室及均壓電容器)。
2. 開關動作時間(包含跳脫時間、閉合時間)。
3. 主回路接觸電阻

(四) 輔機檢查：

1. 各操作壓力測試(如空氣系統正常壓力警報、閉鎖壓力等)。
2. 空壓機檢查(如運轉電流、空氣濾清器等)。

二、斷路器動作時間探討

電力系統之線路或設備發生故障時，產生很大的故障電流，斷路器必需能迅速地啟斷隔離故障電流。而故障電流通過開關設備會發生熱量，啟斷電路時，在斷路器的接觸子上會發生電弧(電弧的溫度達 8,000°C 至 10,000°C)，所以斷路器必需具有消弧的能力。

電力系統設備發生故障時，也會影響系統運轉的穩定度，故障電流所產生的熱量  $I^2t$  與故障電流平方值及時間成正比，若時間持續太久，容易損壞設備，因此必須迅速地啟斷故障電流，減少設備的損害。斷路器的啟斷時間在不同電壓等級其動作時間要求不同，配電系統(22.8kV)為 10 週波，輸電系統(69kV 以上)為 3 至 4 週波，其斷路器動作時間的定義如圖 4 所說明，其動作跳脫

時間包含跳脫指令線圈加壓時間、斷路器接點開啟及斷路器接點消弧完成時間等，若考量復閉功能時，其斷路器接點閉合動作時間就必須等斷路器完全開啟後，且匯流排電壓恢復後才能閉合，其復閉時間必須考量斷路器本身加壓能力及閃絡時間間隔等因素，故 345kV 線路為 30 週波，而 161kV 線路則為 60 週波，而圖 5 及圖 6 為斷路器動作跳脫及閉合的定義<sup>[5]</sup>。

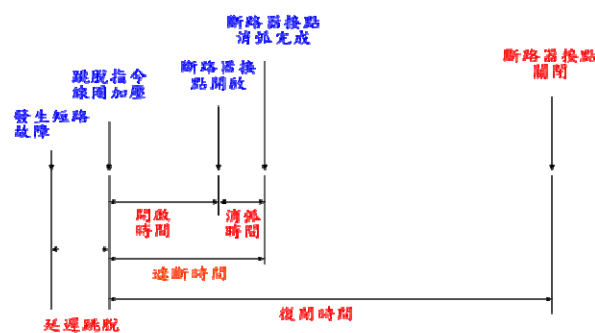


圖 4 斷路器動作時間

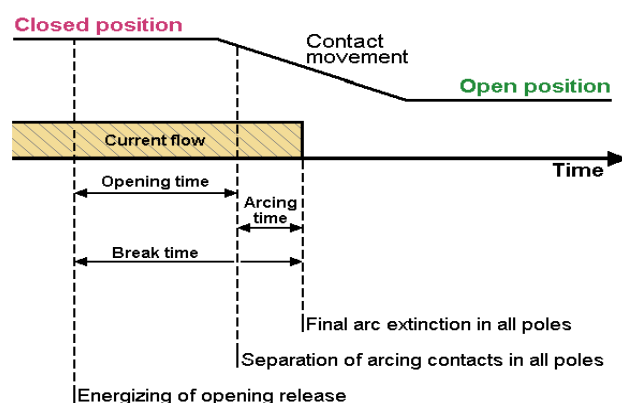


圖 5 斷路器跳脫動作時間定義

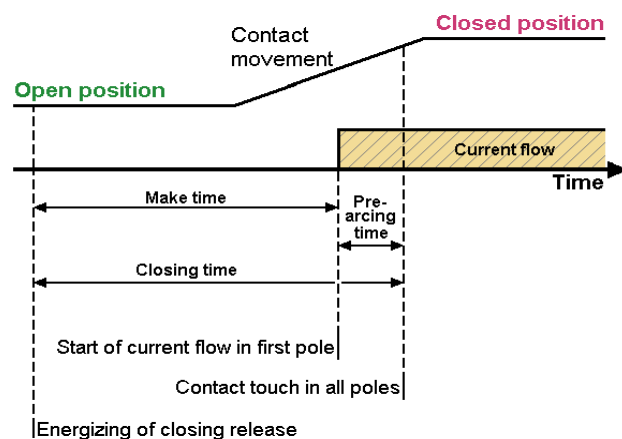


圖 6 斷路器閉合動作時間定義

考量斷路器之服役期間為 20 年以上，且必須要常年及隨時隨地準備要盡到保護電力系統的責任。然而可能因電力系統需求長期性不動作 (Idleness)，在此期間斷路器的機械零件均未動作過，因此更要對斷路器施以維護及測試，來確認其操作機構零組件的效能。另外，使用於消弧室 (Arc-extinguishing)、阻尼裝置(Damping)、氣動及液壓機構中的氣閥及密封元件，可能會因劣化而發生洩漏，造成設備動作異常或故障，進而影響斷路器的動作時間。表 1 為斷路器跳脫與閉合動作時間快慢之可能影響情形，提供斷路器診斷動作時間之參考。

表 1 斷路器動作時間之可能影響情形

跳脫時間 (Tripping Time)	閉合時間 (Closing Time)	影響 (Effect)
正常 (Normal)	較慢 (Slower)	在閉合系統中，特性有改變。舉例來說：潤滑不良(Change in the characteristics of the closing system. Example; Bad lubrication.)
較慢 (Slower)	正常 (Normal)	在跳脫系統中，特性有改變。(Change in the characteristics of the tripping system).
較慢 (Slower)	較快 (Faster)	跳脫驅動系統故障。舉例：有多重跳脫彈簧的斷路器上，一個彈簧可能斷裂而導致較少的跳脫能量，但是閉合時間較快。 Malfunction in the tripping drive system. Example; On breakers with multiple trip springs, one could be broken resulting in less energy for tripping but faster close time.
較慢 (Slower)	較慢 (Slower)	驅動系統中增加摩擦。舉例：在外部連結上有腐蝕或是潤滑不良。 Increased friction in the drive system. Example; Corrosion or bad lubrication on external linkages.

斷路器動作時間的量測是為了提早發現這些劣化情形，而斷路器的點檢工作其中一項檢驗動作的時間則是斷路器跳脫及閉合時間；再將點檢資料輸入至變電設備維護管理系統之「斷路器動作時間」當做這次點檢維護的資料。維護部門也可利用監控系統 SOE 轉換所建置的網路版「斷路器動作時間線上查詢系統」來查訊斷路器之 First Trip 時間，當做此次 CB 狀態基準維護 (CBM) 策略之參考，但這些方式都是單筆單次查尋斷路器的動作時間資料，很難直覺發現該次的點檢資料與上次點檢資料的相關連性，且無法與該斷路器歷年來動作時間趨勢比較。因此，如何透過大數據分析來發掘斷路器潛在弱點因素，將會是一種更精進的做法。

## 肆、斷路器動作數據分析設計與操作介面說明

由於登錄各供電區斷路器內、外點檢紀錄多達 20 萬筆資料，若要以人工方式來分析其資訊，將是困難重重，然而擁有這麼多的內外點檢資料，若透過大數據分析則可在設備風險管理、劣化趨勢管理等找到潛在弱點危險因子及提供精進的決策參考等。

### 一、斷路器動作時間數據分析設計

本文以斷路器跳脫時間數據分析為例說明，而斷路器閉合時間數據分析則方式類似，故不在本文說明。以下說明如何將 20 萬筆以上的點檢資料透過統計的方法來計算出算術平均數、中位數、眾數及變異數等相關數值，再藉由專家系統判斷方法及危險因子加權法來找出最有可能發生故障或潛在弱點的設備，來提昇設備維護的效率。

首先，透過 R 語言軟體將 20 萬筆以上點檢資料以同型式 (Species)、廠牌 (Factory) 及型號 (Type) 方式加以分類，透過下列方程式<sup>[6]</sup>

算術平均數：

$$x_{mean} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

中位數：

$$x_{median} = \frac{1}{2} \left( x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \right) \quad (2)$$

眾數：

$$x_{mode} = \text{mode} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (3)$$

變異數

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{N} \quad (4)$$

最大數：

$$x_{max} = \max \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (5)$$

最小數

$$x_{min} = \min \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (6)$$

計算出全域數值。除了上述所提的條件外，再增加變電所(TP\_CODE)及斷路器編碼(no)條件，透過(1)-(6)以上方程式重新計算的數值則為區域數值。透過第一種方式計算得之數值為全域型之數值，也就是說全區域之同型式(Species)、廠牌(Factory)及型號(Type)的數值，而第二種方式計算得之數值為區域型之數值，其數值是以指定變電所下的該斷路器之點檢資料計算得之。以這兩種方式以型式、廠牌及型號的分類，可以將變電所或地域及點檢人員的因素排除，分析其點檢資料。再者，以將 20 萬筆以上點檢資料找出每個斷路器最新前 6 筆點檢資料，再以上述方式計算出全域數值及區域數值。

藉由計算得到的全域數值來當做基準線，將區域數值與這些不同的基準線來比較，所得的結果給予不同的權重，如表 2。最後將這些權重加總，所得的積分來判斷該斷路器潛在弱點的嚴重程度。

表 2 判斷條件與權重

項目	條件	權重
1	$stmean \geq (gmedian + 6)$ 或 $stmean \leq (gmedian - 6)$	8
2	$tmean \geq (gmedian + 6)$ 或 $tmean \leq (gmedian - 6)$	4
3	$tmax \geq (gmedian + 6)$	2
4	$tmin \leq (gmedian - 6)$	1

其中， $stmean$  為區域斷路器近六筆跳脫時間均值、 $gmedian$  全域斷路器跳脫時間中位數、 $tmean$  區域斷路器跳脫時間均值、 $tmax$  區域斷路器跳脫時間最大值及  $tmin$  區域斷路器跳脫時間最小值。若滿足表 2 之項目 1 時，則權重為 8，因為滿足此項目條件時，也代表此斷路器最近六筆的跳脫時間已偏離全域數值太多，該斷路器潛在故障機率則較高，再者透過燈號在圖形顯示時來呈現該斷路器潛在危險程度，其判斷條件則參考表 3，而計算及分析設計流程圖可參考圖 7。

表 3 判斷條件與燈號

項目	條件	燈號
1	權重>8	紅
2	權重>4	橙
3	權重>2	黃
4	權重>1	綠

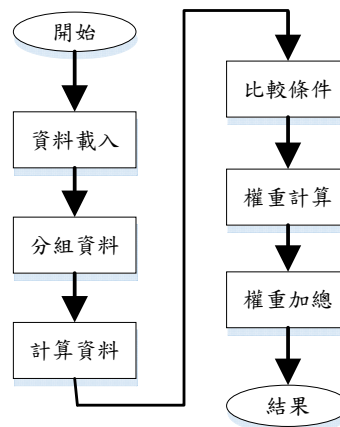


圖 7 計算及分析設計流程圖

## 二、操作介面說明

透過 R 語言來設計斷路器動作時間分析平台使用者介面(UI)如圖 8，此操作界面包含 (一)跳脫動作時間圖形。(二)跳脫動作時間分析。(三)閉合動作時間圖形。(四)閉合動作時間分析。(五)分析結果報表。

此操作界面以點選方式操作，讓使用者可以簡單且清楚選擇想要查尋的斷路器類型、廠牌、型式等，並列表出選擇後的分析結果，讓維護人員更有效率的安排維護重點及時程。

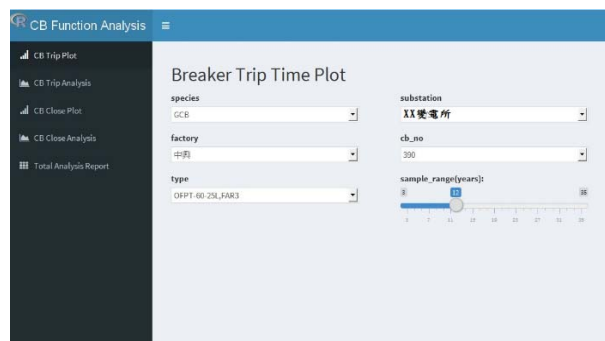


圖 8 斷路器動作狀態評估預測維護平台使用者介面(UI)

接著說明如何操作，首先先選擇類型 (GCB)、廠牌 (CH) 及型式 (OFPTB-60-25LA, PAR3)，如圖 9。

可得這類型在各變電所分布情形，如圖 10。



圖 9 類型、廠牌及型式選擇

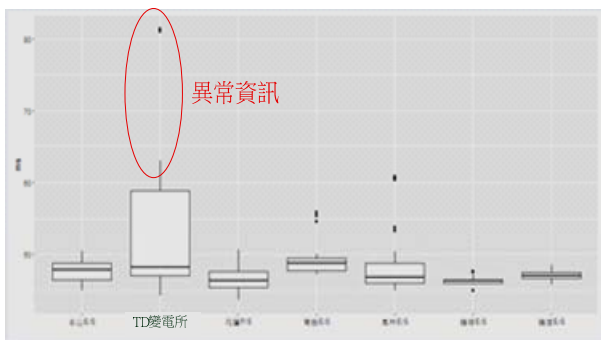


圖 10 各變電所同類型斷路器動作時間分布

從圖 10 可看出使用這類型斷路器之變電所及動作時間分布，其中 TD 變電所這類型斷路器動作時間差異特別大。接著，將 TD 變電所內的斷路器跳脫時間分布情形再以區分，如圖 11。從圖 11 可看出該廠牌及型號的斷路器有兩組，分別為#640 及#820，而#820 的動作跳脫時間分布時間則是造成 TD 變電所整體動作時間分布差異過大主要原因。進一步，了解 TD 變電所#820 動作跳脫時間如圖 12，而 TD 變電所#820 的動作跳脫分布情形如圖 13，從圖中可以看出兩筆異常的動作時間 82ms 及 62.5ms，其中一筆資料 82ms 經與現場確認認為輸入錯誤，而 62.5ms 的動作時間則為正確資料。然而該廠牌型式全域的動作跳脫時間為 47ms，加上容忍誤差值為±6ms，其全

域的動作跳脫時間容忍誤差範圍則介於 41ms~53ms，很明顯這 62.5ms 資料已超出容忍誤差範圍太多，且燈號已顯示為紅燈，也就是說經前面的計算及權重的判斷結果其程度為嚴重型。再者，從圖中可看出該斷路器的動作跳脫時間有明顯持續增加之趨勢，也代表該斷路器的動作隱藏著潛在危機。

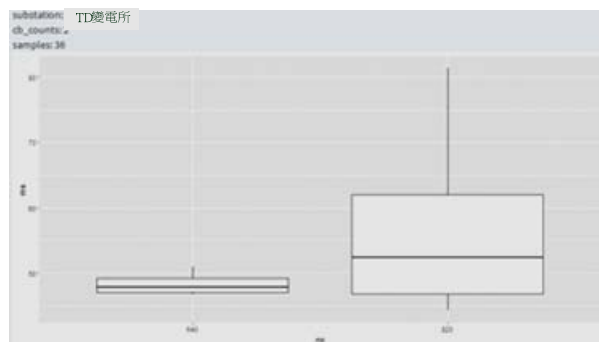


圖 11 TD 變電所斷路器分布情形



圖 12 選擇 TD 變電所#820 斷路器

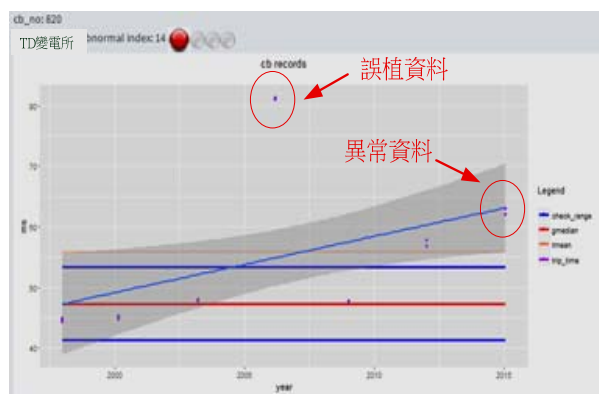


圖 13 TD 變電所#820 動作時間分布及動作趨勢

### 伍、現場實地驗證

為了驗證其分析的結果，以 TD 變電所#820 斷路器現場實地拆解為例，因該操作機構無法於



現場實施深層清潔潤滑且需有特殊輔助工具及專業人員來實施細部拆解及清潔潤滑，組裝後亦需透過專業儀器調教後才可再使用，所以透過原設備廠家將主要影響動作時間之操作機構拆除，回廠做細部的拆解，檢查內部零組件，分析研判影響斷路器動作時間的因素，以驗證大數據分析的結果。

經安排 TD 變電所 #820 斷路器停電拆解操作機構內部<sup>[7]</sup>，主要影響其動作時間之操作器掛鉤連桿部位如圖 14。

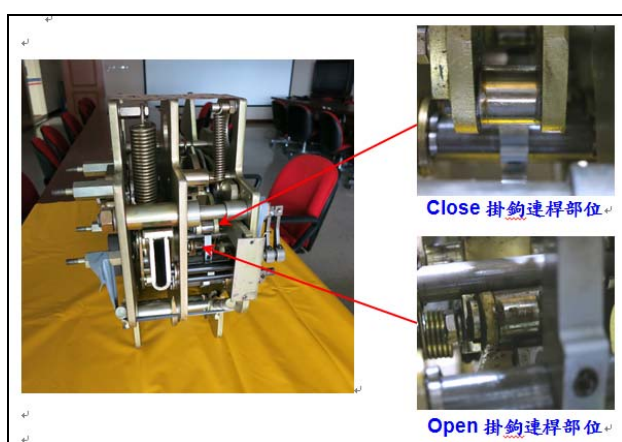


圖 14 TD 變電所#820 斷路器操作機構內部之操作器

首先拆下操作器側蓋板後，開始針對 Close 與 Open 動作相關的傳動機構進行檢查，檢查側蓋板上的 Close 及 Open 掛鉤軸如圖 15。

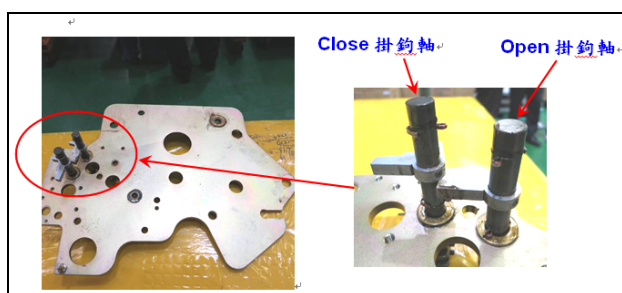


圖 15 側蓋板上的 Close 及 Open 掛鉤軸

將指示連桿拆下，發現在 Close 彈簧儲能到位指示連桿軸的端部其油脂已乾涸硬化如圖 16，此件僅為 Close 彈簧儲能到位指示用，對於動作時間影響不大。

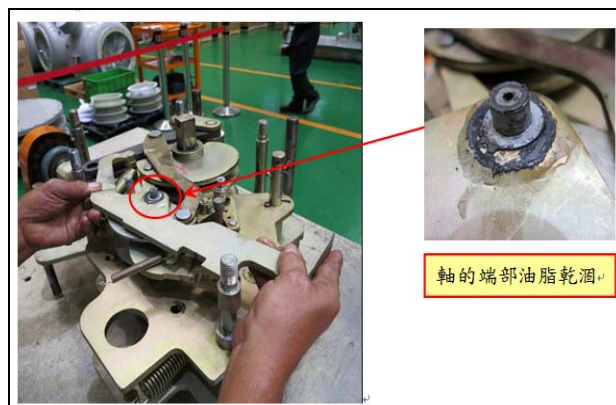


圖 16 Close 彈簧儲能到位指示器軸

接著，將 Close 掛鉤連桿拆下檢查，滾輪部位已被清潔潤滑，外觀看不出有油脂乾涸現象，如圖 17，可正常轉動。

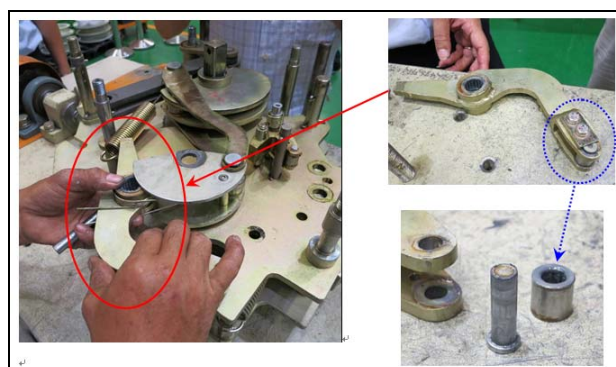


圖 17 Close 掛鉤連桿軸

將 Close 傳動凸輪上的軸承拆下，發現軸承因油脂乾涸導致內輪卡死無法轉動如圖 18。

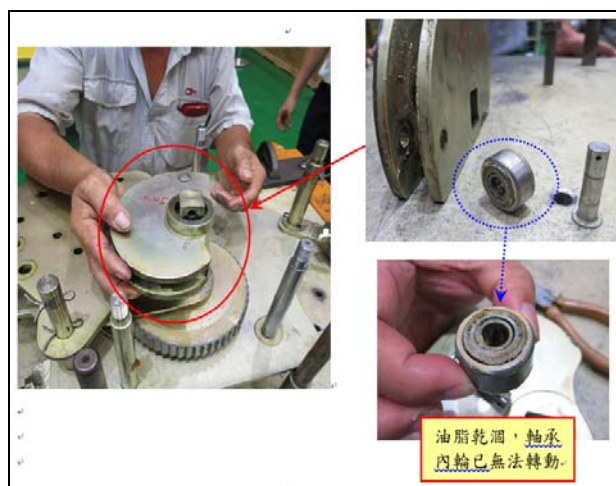


圖 18 Close 傳動凸輪上的軸承



再者，在 Open 的掛鉤連桿部位，發現此連桿上的滾輪有被清潔潤滑，但殘留在滾輪兩側的油脂已呈現乾涸硬化現象，使滾輪無法轉動，另在連桿外側也有油脂垂流硬化的現象，如圖 19。

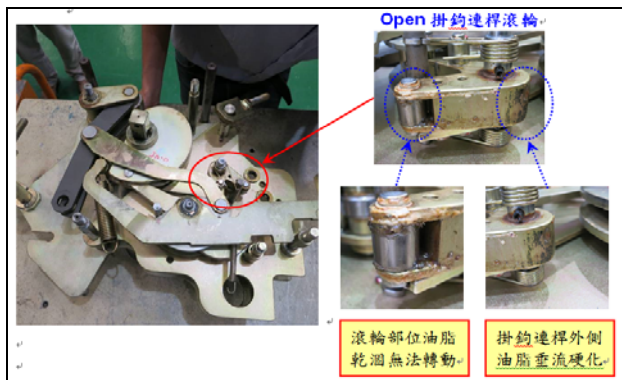


圖 19 Open 動作的傳動機構

經更換操作機構，更換後試驗結果均符合原製造廠規範及大數據分析的誤差容忍範圍，數據如表 4。

表 4 TD 變電所#820 更換操作機構後的跳脫及閉合動作時間

次數	相別 狀態	R 相	S 相	T 相	三相時 間差 (ms)
		(ms)	(ms)	(ms)	
1	open	46.5	45.8	46.9	1.1
	close	114.4	114.5	115.1	0.8
2	open	46.6	46.7	46.9	0.3
	close	116.4	116.0	116.5	0.3

該操作機構拆解過程中，發現有部份機構組件之潤滑油因環境因素影響使油脂老化變質乾涸造成操作機構動作不順，進而影響斷路器跳脫動作時間超出標準值。

### 陸、結論

將變電設備維護管理系統中的斷路器動作時間紀錄達 20 萬筆的點檢資料透過大數據分

析，從原本各自獨立的資料經分析後，轉變為有關連及動作趨勢且可參考的資訊。再者，藉由分析結果與現場實地驗證比對，確實發現該斷路器跳脫的潛在弱點因素，綜合以上的說明其優點如下：

- 一、校正維護資料正確性：可利用大數據分析檢測出維護資料正確或異常。
- 二、標準值之訂定：透過全域的統計數值計算來訂定該廠牌、型式之標準值。
- 三、維護量測之偏差值建立：可統計同型設備所有量測值以建立上下限，以供日後維護量測參考。
- 四、專家系統嚴重程度判斷及界定：藉由大數據分析及相關經驗所得之嚴重程度判斷及權重。
- 五、改變維護方式：經由異狀或趨勢分析提早對異常設備施作點檢，確保功能正常進而節省維護費用及人力，維護方式從原本 TBM 方式，經過 CBM 方式，再進一步進化到大數據分析維護方式。

### 柒、參考文獻

- [1] 台灣電力公司供電處，「變電設備維護手冊」，民國 103 年。
- [2] 鄭志文、陳彥佑，「使用斷路器動作時間線上查詢系統檢視 CB 動作時間之經驗分享及探討」，台電技術報告，2016 年 7 月。
- [3] 「6 個用於大數據分析的最好工具」，2015 年 9 月，<http://wechat.kanfb.com/archives/55835>。
- [4] 陳鍾誠，「免費電子書：R 統計軟體」，網頁修改第 1 版，2016 年 8 月 10 日，[http://ccckmit.wikidot.com/r:basic\\_](http://ccckmit.wikidot.com/r:basic_)
- [5] ANSI/IEEE C37-Guides and Standards for Circuit Breakers, Switchgear, Relays, Substations, and Fuses.
- [6] 李德治、童惠玲，「統計學=Statistics」，初版，台北縣汐止市：博碩文化，2007 年，第 70-105 頁。2011 年 8 月 24 日下午 12:27:06
- [7] CH 公司，「TD 變電所#820 CB 操作機構檢修報告」，2016 年 7 月。

# 巨量資料在電力事業的應用研究

## Big Data Analytics for Electric Power Companies

葉家宏*	陳品佑*	李政緯*	賴向二*
Yeh, Chia-Hung	Chen, Pin-You	Lee, Cheng-Wei	Lai, Hsiang-Erh
余承恩*	林國祥**	阮明俊**	蒲冠志***
Yu, Cheng-En	Lin, Guo-Shiang	Nguyen, Minh-Tuan	Pu, Guan-Chih
廖清榮***	廖政立***	林建宏***	盧展南*
Liao, Ching-Jung	Liao, Jen-Li	Lin, Chien-Hung	Lu, Chan-Nan

(104 年度研究計畫論文)

### 摘要

巨量資料(Big Data)分析與應用已是目前國際的重要發展趨勢。巨量資料的應用能為經濟及社會帶來許多機會，國外已有許多電力系統的巨量資料應用案例，藉由巨量資料分析挖掘出資料的價值，進而創造嶄新的商業機會與精進營運決策，故擬定此巨量資料在電力事業應用之研究。本研究對國外電力公司在巨量資料領域的應用案例進行調查並提供台電公司相關的評估與建議，以及對電壓驟降起因和風電廠輸出資料進行分析，我們亦建立 Hadoop 與 Storm 的巨量資料分析平台；此平台具有能大量儲存資料的 Hadoop Distributed File System (HDFS)分散式儲存系統，而且能夠與 Mahout 機器學習演算法之 MapReduce 架構結合，並基於此平台開發惡意郵件過濾系統、電子郵件關聯性視覺化系統以及先進讀表基礎設備(AMI)資料分析應用。

### Abstract

Big data analytics has become one of the most important trends in international development. Big data application can bring many opportunities to economy and the society. There have been many big data applications in power supply system in other countries. By analyzing and unearthing valuable information from big data, business can therefore explore new opportunities, initiate innovative operations, and formulate adequate development strategies. The research objectives include surveying and studying how foreign power industry developed big data applications, conducting case studies on big data usage in power supply system, offering advice to Taiwan Power Company on big data analytics, and establishing the prototype of big data analysis platform that can take advantages of Hadoop and Storm. The platform is equipped with Hadoop Distributed File System (HDFS) to effectively save massive amounts of data. Based on this platform, email correlation visualization, spam email filtering system, and Advanced Metering Infrastructure (AMI) analysis application are also implemented.

\*國立中山大學電機工程系

\*\*大葉大學資訊工程學系

\*\*\*台灣電力公司綜合研究所

**關鍵詞(Key Words)：**台灣電力公司(Taiwan Power Company)、巨量資料(Big Data)、Hadoop、Spark、分散式運算(Distributed Computing)、電力系統(Electric Power System)。

## 壹、前言

巨量資料一般定義為所涉及的資料量規模巨大到無法在合理時間內透過人工進行擷取、管理、處理並整理成為人類所能解讀的資訊。巨量資料包含了三種層面：巨量(Volumn)、即時性(Velocity)及多樣性(Variaty)。其中巨量是指資料的數量；現代生活裡，各種資料由機器、網路、人與人之間的社群互動不斷產生。根據維基百科統計，2012 年全世界產生了 2.7 Zettabyte (ZB) 的巨量資料。IDC 公司 (International Data Corporation, IDC) 則統計，截至 2015 年全世界已有 8.7ZB 的巨量資料，且這些資料將持續成長，預估在 2020 年全世界將有 40ZB 的巨量資料。即時性代表資料的傳輸流動是連續且快速的，隨著越來越多的各類智慧型機器的產生與使用者的增加，我們必定會需要處理龐大的資料，而如何在有效的時間內處理與回應巨量資料也成為重要的挑戰。多樣性則是指這些資料的範疇不僅止於結構化資料，還包含了日誌檔、電子郵件、視訊、音訊與圖片等這些非結構化的資料，這使得資料分析更加困難。

近年來，世界各地的電力公司正廣泛部署先進輸電、配電自動化與讀表系統，這些新設備的應用和其感測和監測能力，使電網在各項功能上變得更聰明且更能支援電網規劃和資產管理。這些新技術產生的數據更複雜，需要更強大的分析能力才能因應，電力公司也因此面臨挑戰。根據 Oracle 公司在其 2013 年電力公司和巨量資料研究中表示<sup>[1]</sup>，電力公司蒐集的資料遠超過利用的資料，目前仍有許多能夠透過資料分析來提升電網性能和用戶服務的機會。如何有效利用這些資料來開發相關功能應用，是電力事業的一大課題，更是未來的機會。

本研究目的在研究使用分散式計算平台來分析電力事業之各種資料；分散式計算平台是近年來為了發掘巨量資料中的重要資訊而發展出來的技術，突破了以往平台在計算能力上的限制。目前許多的開源軟體社群都致力於發展分散式計算平台，例如 Hadoop、Spark、Spanner、Hydra、Splunk；其中 Apache Hadoop 在目前的眾多平台中具有代表性地位<sup>[2]</sup>，因為其可靠性和行動通訊的迅速發展，在眾多使用者共同開發下已發展出功能齊全的各類應用。此外，美國柏克萊加州大學提出的 Spark 平台透過記憶體內運算 (In-memory Computing) 的方式，使其效率超過 Hadoop 100 倍。而為了減少 MapReduce 程式開發的複雜度，Mahout 機器學習函式庫發展出了一系列群聚、分類與資料探勘的演算法<sup>[3]</sup>。而 RHadoop 則結合了 R 語言的資料分析工具和 MapReduce 的運算能力，讓使用者能夠更快地進行應用分析的開發；Apache Storm 為知名的開放程式碼即時計算平台<sup>[4]</sup>，因 Storm 有分散式運算、高容錯率、高可靠度和編寫程式容易的特性，目前已被許多企業使用。

本研究利用 Hadoop 與 Storm 兩個開放原始碼平台建置基礎環境，並基於此平台發展資通安全應用與電力系統應用。此架構以分散式資料儲存系統(Hadoop Distributed File System, HDFS)與資源管理虛擬層(Yet Another Resource Negotiator, YARN)為平台基底，並同時建構 Flume 系統蒐集資料交由 HDFS 儲存<sup>[5]</sup>。平台上的資料分析工具則利用 Mahout 機器學習與統計分析函式庫架構分析環境。批次資料則會送往 Hadoop 進行分析，即時巨量資料則會由 Storm 來負責處理，並且這些即時資料流會送入 HDFS 進行備份儲存。

## 貳、國外電力發展巨量資料之應用經驗及相關文獻探討

## 一、電業巨量資料應用調查

近百年內，電力系統的硬體設施和運轉模式持續創新，但電網診斷及資料分析概念相對較新，電力公司似乎無法趕上快速變化的外在環境。如何彙整及管理資料其實不是最大的關鍵，真正的機會及挑戰在於如何有效地定義及量化這些資料於電力公司各部門可帶來的價值。

### (一) EPRI 巨量資料調查

世界各地的電力公司正廣泛部署先進輸電、配電和讀表系統。這些新設備的應用、感測器和監測能力，使得電網在各項功能上變得「更聰明」並支援電網規劃和資產管理。這些新技術產生更複雜的數據，需要不斷增強分析能力，電力公司因此也面臨了一些挑戰。EPRI 巨量資料調查評估過去<sup>[6]</sup>，現在和未來的巨量資料在電力公司的應用，蒐集了現有與輸配電相關、目前已安裝或在未來五年將安裝系統的應用程序、結構和數據源，在 2013 年 3 月對世界各地人員調查。問卷內容分為四個部分，包括：一般巨量資料分析的準備程度，了解現有和未來的應用和數據源，巨量資料的機會、效益及挑戰。主要結論如下：

1. 巨量資料分析的準備程度，其中 50% 回覆已準備好，75% 回覆將於五年內準備完成，大部分認為須增加相關研究分析所需要的投資。
2. 對現有和未來的應用功能與數據源的理解是，須瞭解一般系統與資料集、各電力公司資訊有重疊的應用價值、不同電力公司獨特的應用、會越來越常使用外部資訊、透過合作機制可加速知識的累積。
3. 巨量資料的效益與機會包括：提高自動化程度、可視化功能 (Visualization Capabilities) 及電網可靠度。

4. 巨量資料分析的挑戰包括：高度優先區域的資安問題、數據整合及數據分析。最大的挑戰是：

- (1) 整合各種不同類型的資料來源
- (2) 資料視覺化
- (3) 對於決策方案的分析能力
- (4) 財務與人力資源
- (5) 資料品質

許多參與美國 EPRI 配電輸電現代化展示計畫 (Distribution Modernization Demonstration, DMD) 的成員描述了他們對設備資產狀況和資產管理分析的方式。個別公司的創新價值開發經驗可啟發其他擁有相同資料的電力公司，藉由彼此的合作，可展示資料密集應用的效益。該巨量資料的調查發現，接近 3/4(72%) 的受訪者認為，他們有一些獨特的資料應用案例是其他電力同業尚未使用過的，而他們認為其他電力公司將可受惠於這些未公開的數據分析成果。該調查結果顯示，電力公司巨量資料分析的兩個最重要的預期效益是，電網運轉效率及可靠度改善，而最大的挑戰則在於資料整合中的資安問題。展望未來，在數位時代下，資料將可快速取得並加以應用，而用於強化快速應用功能開發能力之基礎建設也將會增加。

EPRI 表示，部分北美電力公司成立了資料分析卓越中心 (Analytics Centers of Excellence, ACE)；這是一個跨部門的團隊結構，提供對推動資料分析和資訊技術有利的基礎設施。在此策略下，由 ACE 統籌技術、流程和人員，由公司高層主管自上而下推動這些跨部門的團隊。

### (二) Oracle 2013 年電力公司和巨量資料的研究

Oracle 公司在其 2013 年電力公司和巨量資料的研究中，分析電力公司如何使用資料以提高運營效率和用戶滿意度。該調查有超過 150 位北美高級電力公司主管提

出意見。Oracle 分析了下列項目：

1. 電力公司對處理巨量資料的匯入是否已準備妥當
2. 資料目前是如何被使用來改善公司運營和用戶服務
3. 未來使用智慧電網資料的短期、長期計畫
4. 利用雲端計算執行資料管理和分析的可能性
5. 電力公司從資料分析預測可獲得之最大價值領域

該研究的結論是，電力公司在智慧電網資料的匯入準備上已有進展，且有更多的電力公司表示他們比以前有更完整的準備。43%的電力公司已準備處理智慧電網技術所增加之大量資料，其他 57%則表示不清楚或未準備。部分電力公司擷取了許多來自智慧電表以外的不同來源資料，包括停電管理系統(OMS)及 SCADA 的歷史資料及用戶資料和用戶回饋的資料。比起過去，電力公司蒐集和利用更多資料，但所蒐集的資料遠超過所利用的資料(圖 1)，因此仍然存在許多能夠利用資料來提高電網性能和用戶服務的機會，仍有許多應用功能尚待開發。

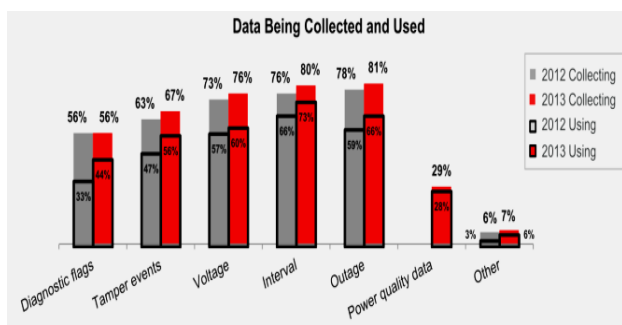


圖 1 電力公司資料蒐集及使用比率<sup>[1]</sup>

智慧電網資料可以用來改善用戶服務及提供在系統運轉分析上的應用，如提高設備資產管理績效、降低運營成本、提高電力系統的可靠性等。電力公司期望從資

料分析預測中獲得最佳的運營績效並提高各項效能；70%的電力公司回覆表示，他們期望資料分析預測可改善公司收入盈餘，61%表示希望降低設備資產維護成本。95%電力公司表示除所蒐集的智慧電表資料外，可用來提高電網性能和用戶服務等價值的資料，包括：停電管理系統(64%)、SCADA 歷史資料(58%)、用戶資料和回饋、替代能源資料(12%)、社交媒體(11%)、氣象資料(11%)、電力批發市場資料(11%)等。認為資料分析對發輸配電系統各項目有助益的回覆為配電 48%、輸電 35%及發電 17%。

一些電力公司運用智慧電網 AMI 資料提供警報或進行其他用戶服務的改進，運用的方式包括：提供用戶用電模式(57%)、實施需量反應計畫(47%)、尋找新服務方案的目標用戶(40%)、建立新的電價方案(34%)、通告用戶異常用電(26%)。

用戶端主要短期(1~2 年)效益包括：

1. 透過比較歷史資料，以確定未來變化趨勢並預測需求
2. 提供用戶相關的用電模式資料
3. 使用預測分析減少停電或改善服務品質及提高供電可靠性

長期(3 年以後)效益包括：

1. 提醒用戶用電異常情形
2. 建立新的電價方案(例如，時間電價)
3. 使用預測分析減少停電或改善服務品質及提高供電可靠性

除用戶服務效益外，問卷回覆中認為智慧電網部署和連帶的資料預測分析能帶來的業務效益包括：電費收入保障(70%)、降低資產維護成本(61%)、降低資產汰換成本(57%)、降低基礎設施成本(54%)、分析分散式發電(50%)、降低發電規劃成本(41%)、降低發電運營成本(39%)、評估電動車的影響(26%)。



調查結果顯示，大多數的電力公司目前缺乏足夠的專業知識去分析數據，而招聘、培訓和第三方解決方案可幫助縮小技術差距。80%以上的電力公司認為可從雲端平台方案得到益處。超過 1/4(26%)的電力公司正在籌劃、實施或維護雲端相關的資料管理和分析方案，而另外 38%的電力公司則處於剛起步的階段。

### (三) Phoenix Forums 巨量資料調查

Phoenix Forums 在 2013 年進行了電力公司在巨量資料管理的思考模式和重點的調查<sup>[7]</sup>。調查結果顯示，管理電力公司的資產資料並加以運用最具挑戰性，在資料分析上電力公司最需要供應商或第三方支援，購買成熟的資料管理及分析軟體被認為可以為電力公司帶來最大的效益，而電力公司可從巨量資料得到的最大效益則在於能源效率目標達成、需量預測及再生能源衝擊分析。

### (四) eMeter 巨量資料調查

eMeter 於 2013 年對未來兩年電力公司數據分析最大的機會<sup>[8]</sup>、最適於利用巨量資料分析的技術及未來兩年資料分析應用最佳機會的調查結果顯示，電力公司數據分析最大的機會在於需量反應管理、電價機制最佳化、輸電瓶頸舒緩、停電管理及用戶參與等。提供最適於巨量資料分析數據的技術包括：電表、智慧家電、輸配電及溫度感測器。而未來兩年資料分析應用最佳機會包括：事故分析、用戶用電分析及電力品質分析。

### (五) Smart Grid Update 巨量資料應用調查

調查發現，推廣巨量資料分析的主要困難包括：哪些資料互為相關、不同系統資料整合、部門獨立資料庫、經費限制、法規管制、資料擷取、缺乏適合分析人才及方法、欠缺策略、標準及互通性等<sup>[9]</sup>。

## 二、巨量資料在電力公司的應用實例

太平洋瓦斯及電力公司(PG&E)巨量資料分析提出的現今應用案例包括：用戶用電模式歸類、時間電價機制強化、用戶能源使用變化告警、能源管理工具建立、竊電偵測及復電工作支援等。而未來的應用將包括：加強能源查核(Energy Audits)、查詢確認未知的 PV 及 EV 用戶、對配電設備進行狀態基準維護(Condition Based Maintenance, CBM)及延緩變電所尖載設備投資等。與 Oracle 公司合作的一家美國電力公司利用巨量資料預測分析找出超載變壓器，進行預防性維護汰換，減少了超過 20%變壓器故障。他們利用統計方法及多變量分析，在產生危急情況前及早標示出有溫度及接線錯誤相關問題的電表，以加強點檢，提升公共安全。藉由巨量資料預測分析潛在的危險，可降低竊電、使用設備之成本損失、公共危險及安全事故的訴訟費用。Oracle 表示利用該應用功能，他們協助電力公司發覺了 2000 個潛在問題和公眾安全的隱憂。

在北美，許多輸電系統運營商及電力系統調度組織利用相關的通信和資訊技術基礎設施，在其各自的服務區域部署大量 Power Management Unit (PMU)。電力界的共識認為利用時間同步動態測量資料可支援電網規劃和業務流程，但為了落實此一潛在效益，建立一套穩健且易於維護支援的應用程式是必需的。

為了瞭解同步相量技術目前應用的水平及成熟度，EPRI 在一次調查中，列出 11 部門的業務功能，詢問每個部門讀取 PMU 資料的頻率。如圖 2 所示，目前同步相量資料的主要用戶是研發人員，其次是系統規劃和操作人員。此調查結果得出的主要結論是，雖然同步相量技術是成熟並被支持的，但大多數應用都還處於研究發展的初級階段，若要做為線上工具則需要進行更多的測試、確認和驗證。

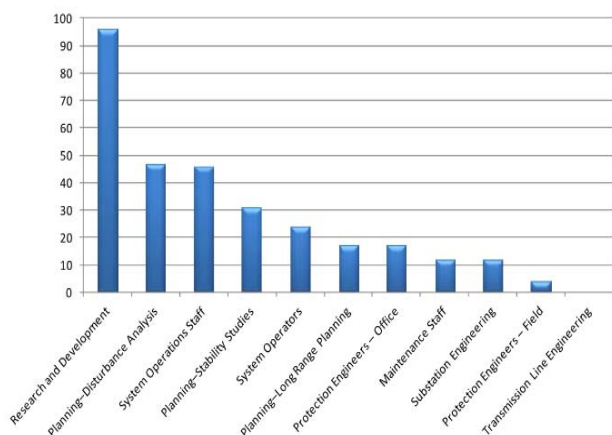


圖 2 每個部門讀取 PMU 資料的頻率<sup>[6]</sup>

在 AMI 的佈建上，資料分析解決方案使電力公司能更好地管理電表的部署、庫存和通信網絡的性能。這些功能包含了追蹤智慧電表部署、即時監控電表性能、追蹤現有庫存電表、辨識電表狀態、自動化電表及網絡性能回報等，這些功能能幫助管理者及時洞察系統情況、減少手動執行這些功能所需的資源。Oracle 認為利用 AMI 佈建的巨量資料分析系統，已使與其合作的電力公司達到以下效果：

- (一) 電表事故發生至修復時間從 90 天縮短至 30 天，電費帳單重新開票率減少 50%。
- (二) 零電力使用電表辨識率達四倍的改善，同數量電表故障維修派工率減少 75%。
- (三) 發現了數以千計的竊電事件，並追討回數百萬美元的收入損失。
- (四) 藉由主動識別問題電表，減少了 70% 需要現場解決糾紛的事件。
- (五) 主動偵測變壓器是否過載，降低了設備故障和停電事件。

ABB 目前與電力公司合作利用資料分析提高配電網的管理，特別是用在天然災害後的復原工作，藉由精確評估資產故障的風險，改善系統可靠度管理，並強化併聯至輸、配電系統之分散式能源管理。廠商協助電力公司整合過去天然災害資料，進行資料探勘以預測未來系統可能受到的影響及復原時間。在此基礎上可估計災後復原所需要的設備庫存量 and 人員配備。針對基礎設施

老化的顧慮，美國電力公司(AEP)藉助於廠商運轉技術與資訊技術能力，分析管理其占有總數一半以上、使用超過 50 年的變壓器，希望以最少的人力降低變壓器故障風險，提高運轉效能。

澳洲 Ausgrid 電力公司與 SAS 資料分析公司合作，建立巨量資料分析平台，處理過去 7 年來 670 億筆的電表資料，進行電表資料分析，找出各種類型用戶的用電習慣，並預測未來用電量需求。根據預測結果，每年平均在每個區域電網可節省約 20 萬美元的發電成本。ABB 與德國 Vattenfall 公司合作，對 2000 個家庭和 30 個商業設施進行了一項計畫，希望能達到 10% 負載轉移的成果。此計畫使用需量反應管理系統(DRMS)進行包括風能、太陽能發電，儲能，電動汽車充電和分層定價的消費市場之能源管理服務。ABB 認為資料分析的走向是預測用戶的反應，電表及其他用戶行為等資料的應用可分析出用戶的喜好和尖峰電價、時間電價等不同方案或電動車充電對電力需量所造成的影響。丹麥 Vestas 風力發電公司使用巨量資料分析以強化風力發電的穩定度；分析全球共 35000 個氣象站的風速、風向、氣溫、氣壓、濕度、降雨量等資訊，建立全球氣象形態。此巨量資料分析平台提升了近 90% 的可預測範圍，藉由分析結果並可決定風力發電機的設立位置與發電排程。

Oracle 與 BGE, Austin Energy 和 City of Palo Alto Utilities (CPAU) 合作，分析用戶對需量反應方案的回應。Austin Energy 對需量反應的優化及管理系統進行測試，以降低尖峰負載。該計畫使用單一平台控制兩種不同溫度控制產品及一電動汽車充電柱，對位置分散的用戶進行需量反應控制測試及資料分析。美國南加州愛迪生電力公司(Southern California Edison, SCE)計畫建立巨量資料分析平台來處理 1400 萬用戶的電表資料，結合氣候、交通、人口結構等多樣化資訊進行巨量資料分析，來預測未來需電量及電價。法國電力公司 EDF 將全國 3500 萬智慧電表資料與輸配電系統、氣候、電價等資訊結合並進行分析。

英國電力公司 Centrica 與巨量資料分析公司天睿(Teradata)合作，建立了一個資料倉儲應用平台來分析智慧電表資料，以建立用戶的用電模式，藉此調整時間電價，使用戶可節省電費並同時達到降低尖峰負載的效果。根據分析結果給予用戶的節電建議讓客戶每年平均節費達 190 英鎊。Teradata 也與美國中部之 Xcel Energy 合作進行用戶用電模式及未成功讀值之電表分析，以建立用戶類別、強化電表維護及降低壞帳。Teradata 與 SCE 及 PG&E 的合作著重在 AMI 資料之應用、強化設備維護、負載預測、節電電價機制及降低風險等。Teradata 已和 SCE 等電力業者建立合作關係，對停電、電力供應、電力需求、天氣對電力供需的影響等數據進行精確地分析，從而為電網安全運行提供更可靠的參考依據。屆時巨量資料所包含的資訊將會給發電和電網業者做出更好的預測，例如氣溫每升高一度對電力需求的影響、用電高峰時間可以精準到以分鐘來計算等具體數據，都可以通過巨量資料分析來獲得。電力設備製造商西門子公司也宣布與數據分析公司 Teradata 攜手進行巨量資料營運，將電力業者設定為目標客戶，提供從智能電表到電網運行系統的設備製造與數據分析服務。

美國加州大學洛杉磯分校的研究者根據巨量資料理論設計了一款電力地圖，將人口調查資

訊、電力業者提供的用戶即時用電資訊和地理、氣象等信息全部結合在一起，製作了一款加州地圖。該圖以街區為單位，展示每個街區在當下的用電量，甚至還可以將這個街區的用電量與該街區人口的平均收入和建築物類型等相比對，從而得出更為準確的社會各群體用電習慣資訊。

東京電力公司與 Opower 在 2014 年合作進行了新客戶互動解決方案；東京電力公司的客戶將能在東京電力公司的免費線上電力記帳服務系統(Denki Kakeibo)上，利用新一代能源數據視覺化工具來了解個人化能源的使用情形及取得節約能源建議。Opower 結合了巨量資料技術、軟體設計及行為科學對日本消費者進行研究，為用戶提供更好的服務和資訊。電力記帳服務中的客戶互動解決方案包含了數據和帳單間的比較、與其他同類型住宅用戶能源使用量比較，以及日後解決方案的配置。日本十家電力公司智慧電表建置規劃時程如圖 3。

日本中國電力公司(Chugoku Electric Power)與 NEC 合作，利用電廠監測系統的大量資料，以巨量資料技術建立大電廠的診斷系統。此系統希望能達到早期偵測出設備故障徵兆；系統納入大量的電廠運轉紀錄資料，包括溫度及壓力等資料，並利用運轉資料變化比對偵測異常狀態，自動地區分電廠是處於正常或異常。

單位：千元

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	總額
Hokkaido		380	530	480	490	510	510	520	560	570		4,550
Tohoku	120	650	840	820	810	800	780	730	730	720		7,000
Tokyo	1,900	3,200	5,700	5,700	5,700	3,300	3,300					28,800
Chubu	10	1,020	1,460	1,440	1,420	1,390	1,390	1,420	1,390			10,940
Hokuriku		150	250	250	230	230	220	190	190	160		1,870
Kansai	1,600	1,700	1,700	1,700	1,500	1,300	1,300	1,200	1,100			15,600
Chugoku		240	560	610	610	610	610	610	610	610		5,070
Shikoku	30	150	310	310	310	310	310	310	310	300		2,650
Kyushu			800	850	850	1,090	1,010	1,000	890	790		7,280
Okinawa		10	100	100	100	100	100	100	90	90	90	850
合計	3,660	7,500	12,250	12,260	12,020	9,640	9,530	6,080	5,870	3,240	90	64,610

圖 3 智慧電表建置規劃時程<sup>[10]</sup>

韓國電力公司(KEPCO)計畫於 2020 年前將所有用戶電表改為智慧電表以提供電網規劃地區需求參考，所採用之智慧型電表資料能額外提供地理資訊。2014 年韓國電力公司利用巨量資料技術來改善需求管理和風險預測，推行了兩項試驗性專案：第一項是利用 AMI 資料來運行一項能源諮詢的業務，第二項則是建立一套風險預測系統來分析社群網絡服務的數據。

### 三、國外電力公司巨量資料的應用歸納結論

電力公司巨量資料管理及分析處理系統解決方案大致有五個選項：

- (一) 內部自行開發系統
- (二) 從已有之運轉技術供應商購入
- (三) 從穩靠的資訊技術供應商購入
- (四) 從專業廠商購入個別產品
- (五) 外包至第三方進行資料分析

透過更完善的數據分析，電力公司可強化許多工作，包括：運轉經營績效提升；電力公司透過數據分析可觀察是否有竊電發生，並進行更妥善的資產管理及電網規劃。執行提高效率措施；用戶資料分析可落在時間電價，監看用戶用電資料並改變用電行為，減少電費支出及電力公司尖峰機組的投資。改善電網運轉彈性和負載管理；配電公司必須減少電力需求以防止事故，例如安裝負載管理系統，以幫助零售商和用戶管理他們的能源使用。幫助電力公司更迅速地辨識、釐清電網問題；在某些情況下，用戶可在問題或事故發生時進行回報。用戶參與能使電力業者獲得更多關於用戶使用模式的資訊，有助提供更完善，更符合需求的服務及設計有效的時間電價及需量反應電費機制。綜合國外眾多單位的看法，若能將電力公司所投資的眾多自動化系統資料加以整合，將獨立的資料系統轉化成資料驅動型(Data-driven)組織，則可達到以下的效益：

- (一) 客戶滿意度：目標性的互動、更多元的營銷計畫和客製化的溝通方式。
- (二) 可靠性：更有效率的監控和事先維護、變壓

器負載管理和設備資產管理。

- (三) 執行效率：更佳的規劃與執行、提高員工效率和確保電費收入
- (四) 安全性：掌握並減輕潛在的風險、減少公共安全隱憂和現場工作管理

研究團隊認為台電公司在其智慧電網所蒐集之巨量資料分析應用將可獲得以下效益：

- (一) 藉由事故及運轉資料分析，強化維護效率及營運績效。
- (二) 需量電表資料分析應用可強化電價設計、了解需求並預測趨勢、辨識電力損失或盜竊區域和改善與用戶關係。
- (三) 對再生能源系統電力輸出的分析可強化再生能源的規劃使用。

以高壓 AMI 資料而言，因供電端可獲得個別用戶詳細的用電型態資訊，故可就用戶類型、用電區域以及用電費用等資料，進一步進行歸類分析；針對不同特性的族群，配合供電端的需求來訂定出適當的需量反應方案。在用戶端，因可掌握即時用電資訊，故可更精確地配合電力公司的需量反應方案，或即時電價的選擇，以降低用電成本。以應用巨量資料方向來思考，可提供給數據蒐集者(不提供個別用戶之用電資訊與電費)依不同用電類型、型態、產業別、用電區域和費用等分類統計數據，並與季節、時間、地域、產業以及消費數據對應，以從中發掘、歸納新的結論或趨勢，產生新的藍海市場或創新應用。

AMI 資料在配電系統的即時監控運轉應用及系統長期規劃應用上亦有極大價值，包括：超載管理、停電管理、降壓節能、負載平衡，非技術性損失區域偵測、新部署設備的健康監控。系統長期規劃的應用包括：設備容量規劃、設備生命週期管理、電動車規劃及重載設備的辨識。這些分析所提供的價值，包括：

- (一) 提高用戶的滿意度，減少停電的事件。
- (二) 提高用戶溝通的效能。
- (三) 增強的網絡管理系統(NMS)的性能分析。
- (四) 減少不必要的成本支出。

- (五) 有效地監控現有設備資產。
- (六) 提供管理單位更精準的系統效率和效能報告。

## 參、電壓驟降和風電廠資料分析

### 一、科學園區電壓驟降資料分析

科學園區內皆為對電力品質要求較高的客戶；透過科學園區內電壓品質巨量資料分析，可瞭解供電品質並提出用戶服務強化建議。本研究使用 2006 年至 2015 年 8 月的科學園區電壓驟降及停電資料。2006 年有新竹、台中、台南三處園區監測資料，到 2015 年共有新竹、竹南、龍潭、台中、后里、虎尾、台南、高雄共八個園區之監測資料。資料紀錄包含電壓驟降事件之監測線路、故障種類、電壓等級、電壓下降幅度以及持續時間。

本研究對電壓驟降事件原因有如下分類。責任歸屬為台電或用戶之事故原因分為二類：(1) 設備不良或劣化、(2) 操作或工作不慎；歸屬為外力之原因分三類：(1) 外物碰觸、(2) 管線被挖斷、(3) 鳥獸蟲蟻害；歸屬為天災者分四類：(1) 鹽塵霧害、(2) 雷害、(3) 風害、(4) 其它天然災害；如未查出事故原因則歸屬不明因素。

除利用台電綜研所資料倉儲系統所儲存之電壓驟降歷史資料外，本研究從中央氣象局網站取得歷年降雨量、颱風侵台路徑及地震資料來進行交叉比對分析，觀察各種不同天氣型態、天然災害對電力系統造成的危害。本研究使用 Excel、統計軟體及巨量資料視覺化軟體 Tableau，進行分析。

電壓驟降起因中，天災佔有將近一半的比例。透過年雨量、落雷、颱風的地理位置比對，可歸類出各園區易受那些特定災害影響，特別就該園區增設相關保護措施，以有效改善電力品質。由台電公司與用戶引起電壓驟降事件占比各約 20%。責任在台電的事故多為設備不良或劣

化，由用戶引起的事故則是不當操作。因人為造成的事件比例仍高，宜加強廠務人員訓練，建立標準程序，定期檢修設備，而謹慎操作設備更為重要。

### 二、彰工風電廠資料分析

彰濱工業區架設有 31 組 V80 風力機組；本分析所使用的風力發電營運資料每 10 分鐘記錄一筆，一天共 144 筆。資料記錄的時間為 2012/11/01 至 2015/05/31(共 942 天)。綜研所能源室新能組提供了在 PI 系統中，彰工風電廠每台風機紀錄的風速、高速端軸承溫度、風機齒輪箱潤滑油溫度、風機實際輸電電量、維修時數等資訊。

彰濱風場的天候因素、適合風力機組風速和軸承齒輪耐用溫度等，都是影響風機運轉的原因。風速與電力輸出比對、可用率分析、短時間輸出變化分析結果顯示，彰濱風場是具發展潛力的場域。增設機組或在安全許可下調高截止風速，將可提升彰濱風場的總電力輸出量。風機發出的 Alarm 與 Warning 訊號資料十分龐雜，若能有效分析引起 Alarm 與 Warning 的肇因及特性，將可更有效率地管理維護彰濱風場的風力機組。

## 肆、巨量資料分析平台

隨著巨量資料的日益增長，為了發掘潛在巨量資料的訊息價值，分散式處理與分析資料已成為必然趨勢。本論文平台之架構使用 Hadoop 與 Storm 建置基礎環境。Hadoop 為計算平台的主流，因為其具有開放原始碼及龐大的 Apache 社群支援的特點，而此平台採用的分散式儲存系統能有效的處理大量資料讀取和儲存的問題。資料分析的部分採用分散式運算的技術 MapReduce 來處理存放於 HDFS 的巨量資料。而 Storm 則是一套分散式即時計算系統，利用 Storm 可以處理無限資料流並且高可靠度。



## 一、Apache Hadoop

最初 Hadoop 是由 Doug Cutting 和 Mike Cafarella 在 2005 年所開發，提供分散式搜尋引擎的服務，目前已被各大企業所採用，為 Apache 軟體基金會裡的一個開放原始碼專案。以往進行巨量資料分析需要透過造價昂貴的超級電腦來進行，而 Hadoop 僅需幾台桌上型電腦來實現分散式運算，即能以低成本處理數 Petabyte (PB) 以上的資料。Hadoop 可監控處理應用程式層以增加可靠度，並可將單一伺服器擴充到數以千計。Hadoop 的主要架構可以分成 HDFS (Hadoop Distributed File System, HDFS) 分散式儲存系統、MapReduce 分散式運算系統與 YARN (Yet Another Resource Negotiator, YARN) 資源管理系統。

### (一) HDFS 分散式儲存系統

HDFS 是 Hadoop 內部的分散式儲存系統，若將整個 Hadoop 叢集(Cluster)視為一台電腦，那 HDFS 即是此電腦的硬碟。如

圖 4 所示，一個 HDFS 的叢集是由一個 Namenode 和數個 Datanodes 組成的。Namenode 會將輸入的資料切割成數個 Blocks(default 64MB/per Block)，同時會將這些 Blocks 複製備份，接著交給 Datanodes 儲存。當某個 Datanode 資料遺失時，Namenode 可藉由其他台 Datanode 上備份的 Block 進行回復，避免資料毀損。

Namenode 扮演著 HDFS 的核心角色，整個叢集只會有一個 Namenode，負責管理 HDFS 所有讀寫與修改等操作；Datanode 為資料儲存的節點，儲存方式以 Block 為單位，當檔案要儲存到 HDFS 時，檔案會被依照特定大小(default 64MB/per Block)分割成許多 Block，這些 Block 會分別儲存到 Datanodes 的硬碟上。Datanode 隨時與 Namenode 保持聯繫，當有 Datanode 臨時停止運作時，Namenode 會從另一台 Datanode 擷取 Block 避免資料的遺失。

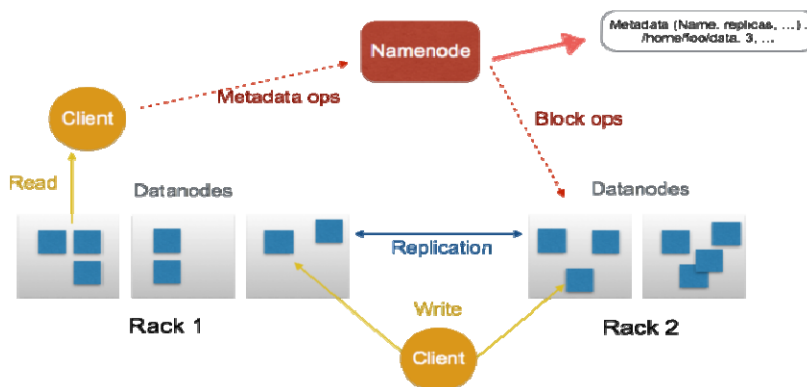


圖 4 HDFS 架構圖

HDFS 是一套分散式儲存檔案的系統，每個檔案的 Block 會被分散到各個機器儲存，儲存於 HDFS 的檔案可以超過一個實體硬碟的容量，不會受限於單一個硬碟的儲存容量。此外分散式儲存的架構可以讓檔案的存取速度加快，利用數台桌上型電腦的低成本即可打造出高價超級電腦的高效能儲存系統，可降低資料分析的成本。

### (二) MapReduce 架構

MapReduce 是 Hadoop 進行分散式運算的關鍵技術，最早是由 Google 所提出，能運作在大規模的叢集上，並具有高可靠性及高容錯率的特性，能透過分散式運算來處理巨量資料。如圖 5，MapReduce 正如其名，是由兩項獨立的任務所組成：Map

和 Reduce。Map 任務是將每個 Datanode 的資料取出，並且轉成<Key, Value>的形式來進行運算；Reduce 的任務則是將 Map

處理完的結果進行整合，再以<Key, Value>的形式把結果儲存到 HDFS。

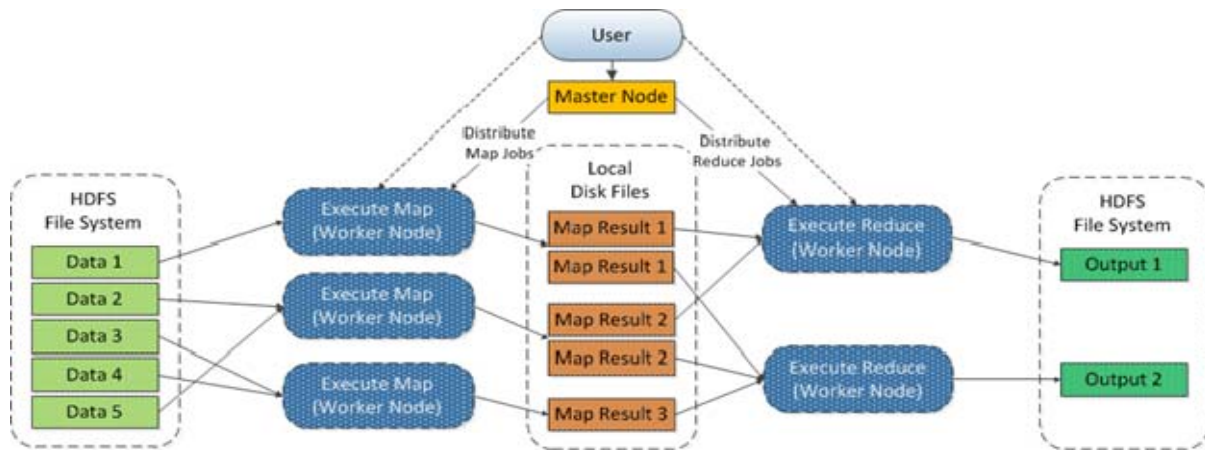


圖 5 MapReduce 架構圖

### (三) YARN

隨著 Hadoop 周邊的發展及各應用程式的需求，Hadoop 必須從批次處理走向即時處理，而複雜的文字串流和非結構化的資料處理對 Hadoop 的資源需求亦會帶來相當大的負荷。為了有效分配 Map 和 Reduce 的任務，Hadoop 推出新的資源管理系統 YARN。

YARN 的應用類型主要可分為四類：批次處理是以高效率的資源管理方式來進行 MapReduce 的任務分配；互動處理可提供使用者需求的即時回饋；線上查詢服務整合資料庫的應用，可提供即時查詢和修改等服務；文字串流使用 Hadoop 可對不斷更新的文字進行分析，如工作日誌。YARN 已是 Hadoop 不能缺少的核心技術，YARN 使 Hadoop 平台能進行即時分析，而 ResourceManager 與 NodeManager 之間的管理系統，能把 Namenode 的部份工作分配給各個 Datanode，讓平台資源能夠更完善被利用。

### 二、Apache Storm

Storm 是一個免費的開源分散式即時計算系統，利用 Storm 可以處理無限資料流並有高可靠度。Hadoop 以 MapReduce 架構來進行分散式運算批量資料，並不適用於處理資料流，而 Storm 的架構是專門被設計來即時處理資料流。Storm 擁有編寫程式簡單、擴展性佳、容錯、可靠度高以及安裝與執行簡單的特性，且 Storm 已是許多公司使用的平台；如 Twitter 的熱門字分析、中國的搜尋引擎百度和雅虎等。

Storm Cluster 架構類似於 Hadoop Cluster，由 Master node 和 Worker nodes 所組成，如圖 6：Master node 執行 Nimbus 系統服務；Nimbus 負責管理 Worker nodes，將工作分配到 Worker nodes 上，並監控 Worker nodes 的狀態；每個 Worker node 會執行 Supervisor 系統服務，Supervisor 根據 Nimbus 的分派來控制工作程序的開始與停止。所有 Nimbus 與 Supervisor 之間的協調 (Coordination) 由 ZooKeeper 來處理，此外 ZooKeeper 也是 Hadoop 用來處理 Namenode 和 Datanodes 之間的協調的工具。

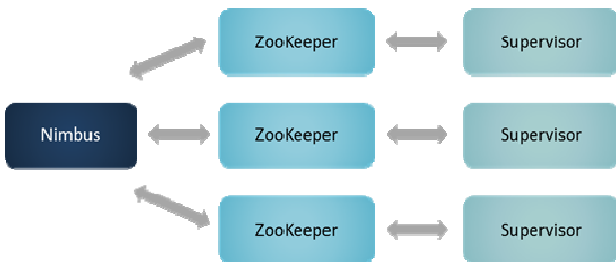


圖 6 Storm Cluster 組成架構圖

Storm 的其中一個任務被稱為 Topology。類似於 Hadoop 中一個 MapReduce 任務的概念，MapReduce 任務執行完便結束，而 Topology 則是會持續運行，直到使用者停止 Topology 為止。

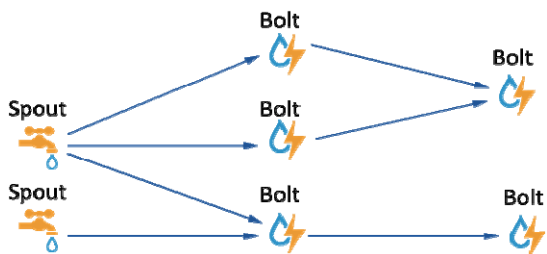


圖 7 Topology 的概念圖

圖 7 為一個 Topology 的簡單概念圖；Topology 由 Spout 和 Bolt 組成：Spout 就像是一個水龍頭，工作是將外部的資料流轉換送給 Bolt 做處理；Spout 可以一次將資料傳送給多個 Bolt，當傳送失敗時，使用者可以根據使用需要來調整是否要重傳或者忽略。以字數統計為例，Spout 的工作就是將資料的字串包裝成資料流傳送給

Bolt。Storm 提供了資料流單位 Tuple，使用者可以自行定義其大小和值。在字數統計裡，Tuple 被定義成資料裡的每行字串，所有的運算邏輯將會在 Bolt 裡實現。Bolt 不僅可以處理任意數量的資料流，還可以產生任意數量的資料流，Bolt 就是一個處理單元。我們將整個演算法的工作合理的分配到多個 Bolt 上，進行分散式運算的處理；以字數統計為例，一般將計算字數的工作分為兩個 Bolt，第一個 Bolt 從 Spout 接收字串，負責把字串分離成字詞，並且包裝成資料流傳給下一個 Bolt。第二個 Bolt 從第一個 Bolt 接收分離的字詞後負責計算每個字的數量。

### 三、Apache Flume

在建置巨量資料分析平台時，資料蒐集系統是非常關鍵的一環。Hadoop 分散式儲存的特性，讓使用者必須對 Namenode 進行操作才可進行 HDFS 的存取，也因此使傳統資料傳輸系統無法有效運作，且當多位使用者同時操作 Namenode 時，更容易有負載過高現象，導致 Hadoop 平台效能無法穩定。

隨著 Hadoop 的發展，Apache 基金會也將 Flume 系統列為其重點發展專案之一。Flume 是一套專門為 Hadoop 開發的資料傳輸系統，其架構可分為 Agent、Processor 與 Collector 三個節點，如圖 8 所示。

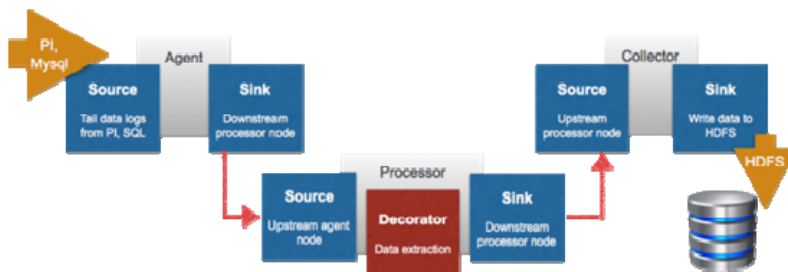


圖 8 Flume 架構圖

#### (一) Agent 節點

Flume 系統中的 Agent 節點設置於資料來源端，如 SQL 資料庫；利用 Source

端進行資料監控，將來源端新增的資料匯入 Agent 節點後，再經由 Sink 端匯入 Processor 節點。

## (二) Processor 節點

在 Processor 節點中，Source 端負責監控 Agent 節點的 Sink 端，由 Agent 節點匯入的資料經由 Processor 節點的 Source 端傳到 Decorator 程序。Decorator 程序目的則在於進行資料的格式轉換；除了將原始資料轉換為可進行分析的格式外，同時也對來自不同平台的不同格式資料進行格式統一，以提高 Hadoop 資料分析之效率。轉換過的資料則再由 Processor 節點的 Sink 端傳往 Collector 節點。

## (三) Collector 節點

Collector 節點同樣透過 Source 端接收 Processor 節點匯入的資料，接著由 Collector 節點的 Sink 端向 HDFS 的 Namenode 發送指令，將資料傳送至 HDFS。藉由 Flume 的 Agent、Processor 以及 Collector 三個節點的配置，使用者可將不同來源且不同格式的資料，自動化匯入 Hadoop 的 HDFS 系統中，且不必對 Namenode 進行操作。可降低 Hadoop 平台的負擔，並提升資料傳輸的效率。

## 四、Apache Mahout

一般而言，在進行資料分析時常用到幾個機器學習工具，如 WEKA 的資料探勘及 Scikit-Learn 的 Python 機器學習函式庫。然而在進行巨量資料處理時，由於 Hadoop 必須使用 MapReduce 架構進行分散式運算，所以一般機器學習的程式碼無法直接運行，必須先將這些程式碼改寫為 MapReduce 架構，帶來許多不便。Mahout 是一個架構在 MapReduce 之上的演算法函式庫，內建許多經典與重要的演算法，如協同過濾推薦演算法、分類演算法、分群演算法與降維演算法；有了 MapReduce 的平行處理架構能讓巨量資料的分析更容易進行。對巨量資料分析需求的提升使得 Mahout 在 Hadoop 周邊環境中扮演的角色日益重要。MapReduce 的平行運算能力與 Machine Learning 的結合，可提取出有價值的數

據分析結果。

## 伍、巨量資料於電力系統之應用分析

### 一、低壓 AMI 用戶資料分群之應用

低壓用戶資料中分成四個區處共有 6479 個用戶，其中區處 00 有 3400 個、區處 01 有 2467 個、區處 07 有 235 個，而區處 15 則有 377 個。記錄的資料區間為 2014 年 3 月 1 日至 2014 年 7 月 31 日(共 153 天)，每 15 分鐘記錄一筆負載資料，一天共記錄 96 筆數據。

我們以 R 統計軟體與 Matlab 為主之分析計算方法，對區處 00 的 3400 個用戶進行分群。因 2014 年系統最高瞬間尖峰負載發生在 07 月 15 日 13:40:13，於是所使用的資料為 2014/07/07 至 2014/07/20 共 14 天，每天 24 小時用電量，所利用演算法為 Clustering Large Applications。為尋找與台電之尖峰日負載曲線相似/相異的低壓用戶，本研究將四個區處所有用戶的 07/07、07/08、07/09、07/10、07/11、07/14、07/15 共七天(皆為平日)資料加以平均，利用每用戶平均負載曲線與台電所提供之尖峰日負載曲線進行比較。考慮在尖峰時刻(12 時至 17 時)的最大絕對誤差與非尖峰時刻的最大絕對誤差小於某一給定值時，搜尋與台電尖峰日負載曲線相似之用戶。

巨量資料經由 Hadoop 平台實現分散式運算以降低資料分析之成本，並提高效能。應用程式若要在 Hadoop 平台上進行分散式運算，必須以 MapReduce 之架構編寫程式。MapReduce 是 Hadoop 平台分散式運算的關鍵技術，最早由 Google 所提出，具有高可靠性與高容錯的能力，為運作於大規模電腦所組成的叢集上之技術。MapReduce 的運作方式分為 Map 與 Reduce。Map 任務是把 HDFS 上的資料區塊(Block)分配給各個 Datanode 並進行運算處理，資料以<Key, Value>對的方式來傳送；Reduce 任務則是把每個 Map 之結果，根據 Key 將資料整合成中等區塊，

再進行資料整合分析並輸出最後結果。工程師只要編寫以上的 Map 和 Reduce 任務之程式碼並專注於演算法邏輯的實現，MapReduce 架構會自動處理好資料分配、溝通、同步以及系統容錯；MapReduce 架構讓編寫 Hadoop 之應用程式更為容易。

研究團隊將低壓 AMI 用戶資料分群應用演算法改寫為 MapReduce 架構，讓演算法能夠在 Hadoop 上執行，實現分散式運算。低壓 AMI 用戶資料分群應用使用的分群演算法為 CLARA(Clustering Large Applications)演算法；CLARA 演算法是由 PAM(Partitioning Around Medoids)改良之分群演算法，透過取樣大幅減少計算量以處理巨量之資料。

#### (一) K-MEDOID CLUSTERING

K-medoid clustering 是分群方法的一種；K-medoid clustering 會從資料集合選出一個代表其群集中心的資料點(medoid)，則所有群集與各個資料點之比較就可以簡化成群中心點與資料點的比較。最常見的 K-medoid clustering 演算法就是 PAM。

PAM 演算法由 Kaufman 和 Rousseeuw 在西元 1987 年提出，其演算法流程如下：

1. 首先隨機選 k 個資料點做為初始群中心點。
2. 計算出每個資料點與群中心點之間的距離，並把資料點分配給最小距離之群中心點，資料集合將會被分成數個群集。
3. 選取任一非群集中心的資料點取代群集中心，並計算總群集的距離改變量，當改變量大於 0 則不取代原群集中心，反之則取代。
4. 步驟 3 會不斷的重複直到群中心點不再改變為止。

#### (二) CLARA

CLARA 演算法是一個迭代的 K-medoid clustering 演算法，為 PAM 演算法的改良版，其優勢在於能夠處理巨量資

料集合，藉由重覆隨機取樣資料集合，並對每個取樣以 PAM 演算法求出群中心點，計算出每個取樣分群的品質(quality)；一般會以每個 medoid 與其資料點之間的距離和為品質，越小代表分群之結果越佳。CLARA 演算法會不斷的重複以上步驟，直到求出最佳的群中心點解。

由於 CLARA 演算法是採用隨機取樣於整個資料集合，經常會找出不準確或是一個近似解。為了改善準確度，可以將取樣的數量增加。

#### (三) CLARA in MapReduce

要將 CLARA 演算法改寫成 MapReduce 的架構，必須先考慮如何將計算工作分成數個平行化的任務來處理。假設將資料集合取樣 L 次，並對每個取樣以 PAM 演算法求解，則我們可以將此計算工作分成 L 個平行化任務。因為取樣是彼此獨立的，不會有計算先後的問題，透過以上的平行化任務，會得到 L 組候選群中心點，接著算出群中心點與其資料點之間的距離和並進行品質比較，最小的即是最佳分群解。

這樣的平行化處理不需要原本 CLARA 演算法的迭代結構，就可以得到原 CLARA 的分群結果。演算法可以分為兩項 MapReduce 的任務：第一項任務會選取任意的資料子集合來進行取樣，並對每個取樣以 PAM 演算法分群；第二項任務將求出從第一項任務得到的每個分群結果之品質，以找出最佳分群解作為結果。

#### (四) 實驗

本研究實驗於 Hadoop 平台上進行，此 Hadoop 平台由三台桌上型電腦組成；電腦配置皆為 Intel i7-4770CPU 及 8GB 記憶體，PC 則為 Intel i7-4770CPU 及 4GB 記憶體。研究團隊在 Hadoop 平台上，以 MapReduce 的框架實現 AMI 用戶分群之



CLARA 分群演算法，並且比較 Hadoop 與 PC 的運算效能，實驗結果如圖 9、10。

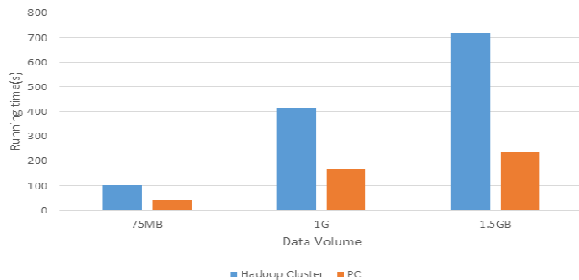


圖 9 PC 為非 MapReduce 架構 CLARA 的實驗結果

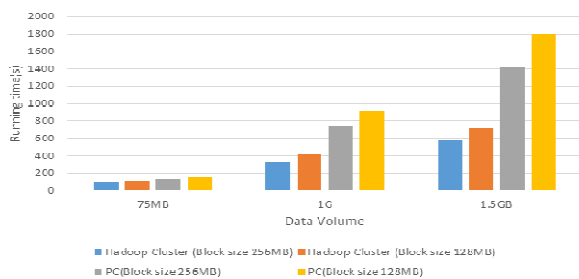


圖 10 PC 為 MapReduce 架構 CLARA 的實驗結果

Hadoop 平台處理低資料量時的效能容易受限於 Namenode 分配 Job 到各個 node 的時間與各個 node 之間的資料傳輸時間。從圖可以看出 Hadoop 在處理速度上比 PC 慢，主因為 PC 會將整筆資料讀入記憶體內；因此資料量小時，PC 表現會優於 Hadoop。PC 記憶體至多為 32GB，以巨量資料的 TB 或 PB 等級的資料量而言，是不可能先把整組資料讀入記憶體再進行處理的。Hadoop 會將資料分割並且平行處理，所以即使資料量巨大，也能夠透過分割資料來進行處理。研究團隊改以 PC 使用 MapReduce 架構之 CLARA 來進行比較，Block size 為資料分割的單位。實驗分別測試了 128MB 和 256MB 的處理效能；結果顯示 Hadoop 效能優於 PC。

## 二、即時巨量資料分析

現今有大量資料是透過網路來進行高速傳

輸以及流動。資料流若能即時被處理並進行相關分析應用，將可大幅改善效率，甚至因此讓企業在市場上脫穎而出。

巨量數據資料流透過 Storm 進行即時處理和分析，類似於 Hadoop 之 MapReduce 架構。若將演算法實現在 Storm 也必須以其程式架構 Topology 來撰寫程式，所以程式都必須經過改寫。Storm 並不像 Hadoop 平台已經發展出 Mahout；Mahout 是 Hadoop 的 Machine learning library，在 Mahout 裡的演算法皆是以 MapReduce 架構完成的程式碼。

研究團隊建立了一個 Storm 平台來進行效能測試實驗，Twitter 留言即時字數統計：

### (一) Twitter 留言即時字數統計

研究團隊使用 Twitter Stream API 即時存取 Twitter 上的留言來做字數統計，並且比較 Storm Cluster 與 PC 的運算效能。Twitter Stream API 為 Twitter 提供給開發者以存取 Twitter 留言或發文資料流的工具。另一常見的社群網站 Facebook 也提供了類似的 API 給開發者，只要開發者提出申請就有權使用這些存取功能。研究團隊以一項 Topology 任務來實現字數統計；由 1 個 Spout 和 3 個 Bolt 來完成。Spout 負責從 Twitter 上不斷地截取留言，將每筆留言轉換成 Tuple 資料流後傳給第一個 Bolt，第一個 Bolt 再將每個留言裡的字詞分離出來，並以每個字詞為單位轉換成 Tuple 傳給第二個 Bolt，接著第二個 Bolt 計算出每個字詞的個數，傳給最後一個 Bolt 進行輸出。

### (二) 實驗

本研究實驗於 Storm 平台上進行，此 Hadoop 平台由三台桌上型電腦組成，電腦配置皆為 Intel i7-4770 的 CPU 及 8GB 的記憶體，PC 則是 Intel i7-4770 的 CPU 及 8GB 的記憶體。

表 1 為存取 Twitter 留言進行字數統計的實

驗結果；實驗一共處理了 84998 筆留言做為測試。Execution Latency 為每次存取一筆留言並進行字數統計所花的時間，Total Running Time 則為程式全部耗費時間。

表 1 Twitter 留言即時字數統計實驗結果

	PC	Storm Cluster
Execution Latency	49.85ms	0.20ms
Total Running Time	7516s	3559s

實驗程式把字數統計的工作分為 1 個 Spout 和 3 個 Bolt 來實現，以處理相同數量的留言來比較處理時間並進行效能測試。Storm 的架構能將 Spout 和 Bolt 的工作分配至 Cluster 的各個 node 進行分散式運算，所以 Storm Cluster 才会有比 PC 更好的效能。實驗結果顯示 Cluster 在 Execution Latency 的效能明顯高過 PC，而在 Total Running Time 方面卻沒有反映出像在 Execution Latency 的高效能；因為程式設定為當沒有新留言時，系統會等待 50ms 再檢查是否有新留言，這個時間是在 Cluster 和 PC 是一樣的，而且經常會發生無新留言的狀況。

### 三、應用資料探勘於風力發電機維護之研究

台灣電力公司位於彰濱工業區的風力發電機(風機)共有 31 台，位於兩個風場內。風場風力多變，風機零件容易耗損，為了控制維修成本以及監控台灣整體用電需求量變化，這些風機均安裝有許多感測器，隨時監控風機運轉的各種數據以進行風機的現況評估。這些感測器所取得的量測數據包含風速、高速端軸承溫度、風機齒輪箱潤滑油溫度、風機實際輸電電量和維修時數。感測器偵測到的不同風機運轉情況則有對應的風機事故碼提供維修人員瞭解風機運轉現況或風機零件耗損情形。

由於感測器每 10 分鐘就會記錄一次風力發電機的量測數據，因此這些量測數據已經形成了巨量資料。可以預期分析這些感測器量測數據將有助於風機維護機制的建立或調整。因此，本研

究對事故碼與風機維護之間的關係進行了進一步的分析。在關聯規則的使用中，Apriori 演算法是最著名且最被廣泛運用的演算法，本研究以 Apriori 演算法進行事故碼與風機維護關聯規則的探勘<sup>[11]</sup>。

#### (一) Apriori 演算法

Apriori 演算法的主要概念分為兩個部分：

1. 反覆的從資料庫讀取候選項目集合 (Candidate Itemset)，找出滿足最小支持度的高頻項目集(Frequent Itemset)直到沒有高頻項目集被找到為止。
2. 以前一個階段找出的高頻項目集及所設定的最小信賴度為條件，計算出所有高頻項目集的信賴度，若滿足最小信賴度則關聯規則成立。

關聯規則：項目集  $X$  與項目集  $Y$  產生關聯規則；意即當發生  $X$  時，則會發生  $Y$ ，表示如：

$$X \Rightarrow Y \quad (1)$$

支持度(Support)：衡量前提項目  $X$  與結果項目  $Y$  一起出現的機率；表示該規則在全部紀錄中出現的比率，定義如下：

$$\text{Support}\{X \Rightarrow Y\} = P(X \cap Y) \quad (2)$$

其中， $P(X \cap Y)$  表示  $X$  與  $Y$  一起出現的機率。最小支持度(Minimum Support)：最小支持度控制一個關聯規則必須涵蓋的最少資料數目。

信賴度(Confidence)：衡量前提項目  $X$  發生的情況下，結果項目  $Y$  發生的條件機率；表示前提項目  $X$  發生的情況下，可以推得結果項目  $Y$  的規則之正確性的信心程度，定義為：

$$\text{Confidence}\{X \Rightarrow Y\} = P(X \cap Y) = \frac{P(X \cap Y)}{P(X)} \quad (3)$$

其中， $P(X | Y)$  表示  $X$  發生的情況下， $Y$  發生的條件機率。 $P(X)$  表示  $X$  發生的機率。

最小信賴度(Minimum Confidence)：最小信賴度控制這個關聯規則的預測強度。

增益(Lift)：衡量比較信賴度與結果項目  $Y$  單獨發生時，兩者機率的大小關係，定義如下：

$$Lift\{X \Rightarrow Y\} = \frac{P(Y|X)}{P(Y)} = \frac{P(X \cap Y)}{P(X)P(Y)} \quad (4)$$

$P(Y)$  表示  $Y$  發生的機率。 $Lift\{X \Rightarrow Y\} > 1$ ，表示該關聯規則的預測結果比結果項目  $Y$  表現好，其信賴度大於結果項目  $Y$  發生的機率。

Apriori 演算法主要可分為五個步驟，如圖 11 所示：

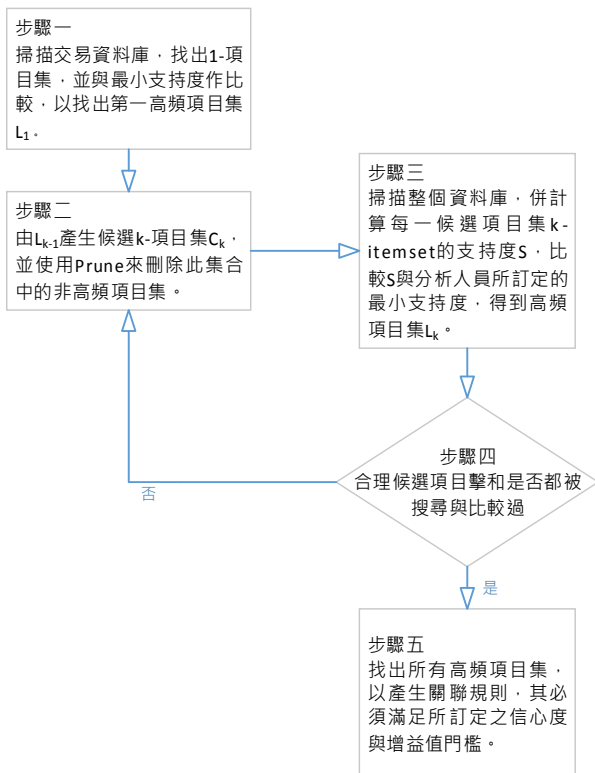


圖 11 Apriori 演算法流程圖

1. 快速掃描交易資料庫，找出所有 1-項目集後(此處須注意 Apriori 演算法是採用由下往上的方式搜尋項目集，故其第一個項目集常僅包含單一商品)，再與所訂定之最小支持度作比較；若通過門檻值則可視為高頻項目集，又稱為高頻-1 項目集，記為

$L_1$ 。設定  $k=1$ 。

2. 設定  $k=k+1$  並產生新的候選  $k$ -項目集；刪除候選  $k$ -項目集內有任意  $(k-1)$ -子項目集中不屬於  $L_1$  之候選項目集，並記錄過濾完後之候選  $k$ -項目集為  $C_k$ 。
3. 計算  $C_k$  集合中各自對應的支持度是否大於或等於所定義的最小支持度以得到高頻項目集集合，而蒐集  $C_k$  內符合條件限制的項目集即稱為高頻  $k$ -項目集，或記為  $L_k$ ； $C_k$  內不符合條件限制的項目集則刪除。
4. 判斷是否已搜尋過所有的候選項目集。若已搜尋完所有可能之候選集，則繼續步驟 5；若否，則回到步驟 2。
5. 計算所蒐集之項目集信賴度與增益值，找出具顯著性的關聯規則以幫助訂定相關決策。

## (二) 資料處理

為了分析出事故碼與風機維護的關聯，必須先整理感應器紀錄的表單資料。我們以感應器紀錄的六個表單中之「維修時數」為基礎，收集整理事故碼，進而探討關聯性。

維修時數 NAN 表示風機停機進行維修。我們先定義 NAN 週期以便於後續收集合適的事故碼進行資料挖掘。

### 1. NAN 值

當風力發電機進行維護時，感應器會在維修時間的紀錄中對應的時間位置留下紀錄值 NAN。NAN 值有兩種情況，一是當風力發電機因運轉環境因素而被手動暫停運轉，此時維修時數值不會改變；而當風力發電機因維修而停止時，維修時數值將會改變(包含正增量與負增量)。以資料探勘而言，我們只考慮維修時數值會改變的情況。

### 2. NAN 時間

維修時間，如圖 12 中綠色雙箭頭的區域。

### 3. NAN 週期(NAN period)

維修時間的紀錄中，時間狀態由前一個 NAN 的結束時間點起始，到當前 NAN 的結束時間點結尾的時間區間，如圖 12 中橘色雙箭頭的區域。

### 4. 時間條件

維修時間的紀錄中，時間狀態由特定情況發生時間點起，到當前 NAN 開始的時間點之間的時間區間，如圖 12 藍色雙箭頭的區域。

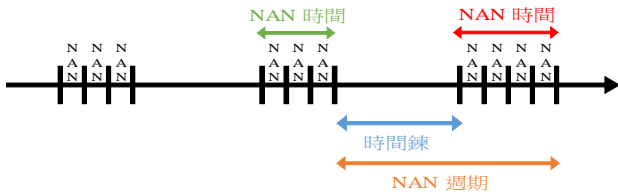


圖 12 維修時數與 NAN 週期、NAN 時間、時間條件之關係圖

### 5. 維修時數正/負增量

NAN 時間開始之前一個維修時間，與其結束之後的維修時間；若後者減去前者後(如圖 13，兩個紅色框之間的差)結果值大於等於零，則為維修時數正增量，若小於零，則為維修時數負增量。

807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	1114
807	484	763	1289	602	183	NaN
807	484	763	1289	602	183	NaN
807	484	763	1289	602	183	NaN
807	484	763	1289	602	183	NaN
807	484	763	1289	602	183	NaN
807	484	763	1289	602	183	NaN
807	484	763	1289	602	183	NaN
807	484	763	1289	602	183	1115
807	484	763	1289	602	183	1115

圖 13 維修時間的紀錄(表單六)

### 6. 事故碼

當風力發電機運轉時，環境因素或風機元件超出正常工作範圍進而觸發感測器，則感測器會記錄當下風機相關異常運轉的訊息。例如：

- 144：高風速 25.1m/s
- 900：從本地鍵盤暫停
- 276：開始自動偏航 CCW
- 329：DC 電壓過量：880V 狀態 4

### 7. 事故碼事務(Event Code Transaction)

前次維修狀態結束至目前維修狀態結束之間，感測器會記錄一或多個的事故碼。

為了分析事件碼與事件之間的關係，我們以 NAN 時間為單位來分析風機資料。我們將資料拆為 NAN 週期並把與 NAN 週期相關的事件碼收集起來以供分析。在進行前處理部分我們先收集 NAN periods with positive increments (維修時數正增量)並移除 NAN periods with negative increments (維修時數負增量)，最後得到所有風機的 NAN 時間和維修時數為正增量之 NAN 週期，這次的資料中我們得到所有的事件碼為 1555 個。收集 NAN 時間之後，本研究依據維修時數前後變化之大小，將 NAN 週期分為四種維修類別如下：

- 第一類：1 ≤ 正增量 ≤ 10(1394 事故碼)
- 第二類：11 ≤ 正增量 ≤ 50 (91 事故碼)
- 第三類：51 ≤ 正增量 ≤ 100 (16 事故碼)
- 第四類：正增量 > 100 (54 事故碼)

可預期第四類維修時數較長，表示風機需要停機進行大型保養維修。台電風機的感測資料中，分類後的事件碼在每個範圍中的筆數如圖 14 所示。由圖可得知第一類發生機率最高。

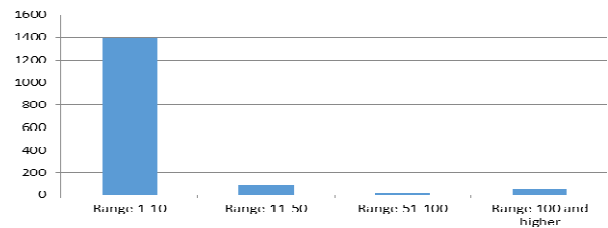


圖 14 NAN 週期分類表

(三) 事故碼與風機維護的關聯性分析

由於每一類型發生的原因可能不相同，此處本研究探討事故碼與維修類別的關係。首先對 31 台風機進行整體性分析，之後再就四大維修類型進行分群風機維護的關聯性分析。

1. 整體分析

由 31 台風機得到共 1555 個事故碼。設定最小支持度為 7%，最小信賴度為 50%，結果得到 26 個關聯規則。從全部的關聯規則中，挑出 7 個高顯著性關聯規則，如表 2。

表 2 整體資料高顯著性關聯規則表

編號	關聯規則	支持度	信賴度	增益
1	144=>900	26.62	92.00	1.03
2	329=>900	16.98	93.62	1.05
3	144,329=>900	9.58	95.51	1.07
4	276,329=>900	7.60	94.64	1.06
5	329,335=>900	7.01	94.78	1.06
6	315=>900	7.65	95.97	1.07
7	340=>329	7.33	98.28	5.42

2. 分群分析

不同於整體分析，我們對四種維修類別進行個別群組分析。此處，本研究利用 Apriori 演算法來取得事故碼與風機間的關聯規則。

(1) 第一類( $1 \leq \text{維修時數正增量} \leq 10$ )

第一類維修類別中總共有 1394 個事故碼。Apriori 演算法的參數設定在最小支持度為 5%，最小信賴度為 80%；第一次分析後得到 34 個關聯規則。我們從全部的關聯規則中挑出了 7 個高顯著性關聯規則，如表 3。

表 3 第一類第一次分析之高顯著性關聯規則表

編號	關聯規則	支持度	信賴度	增益
1	144=>900	27.33	92.48	1.03
2	340=>329	7.68	98.17	5.24
3	276,329=>900	7.60	94.64	1.06
4	329,340=>900	7.17	93.46	1.04
5	329=>900	17.43	93.10	1.04
6	340=>329,900	7.17	91.74	5.26
7	329,335=>900	7.03	94.23	1.05

第二次分析後我們從全部的關聯規則中挑出 5 個高顯著性關聯規則，如表 4。

表 4 第一類第二次分析之高顯著性關聯規則表

編號	關聯規則	支持度	信賴度	增益
1	144=>900	27.33	92.48	1.03
2	144,335=>900	6.38	94.68	1.06
3	144,329=>900	9.97	95.21	1.06
4	276=>900	23.31	89.78	1.00
5	276,329=>900	7.60	94.64	1.06

(2) 第二類( $11 \leq \text{維修時數正增量} \leq 50$ )

第二類維修類別中總共有 91 個事故碼。Apriori 演算法的參數設定在最小支持度為 5%，最小信賴度為 80%。第一次分析後得到 25 個關聯規則。我們從全部的關聯規則中挑出 11 個高顯著性關聯規則，如表 5。

表 5 第二類第一次分析之高顯著性關聯規則表

編號	事故碼	支持度	信賴度	增益
1	276=>900	16.48	93.75	1.11
2	340=>329	5.49	100.00	6.07
3	329=>900	16.48	100.00	1.18
4	335=>900	12.09	91.67	1.08
5	687=>900	8.79	100.00	1.18
6	144,329=>900	7.69	100.00	1.18
7	329,335=>900	8.79	100.00	1.18
8	340,900=>329	5.49	100.00	6.07
9	329,340=>900	5.49	100.00	1.18
10	144,335,900=>329	5.49	83.33	5.06
11	144,329,335=>900	5.49	100.00	1.18

(3) 第三類( $51 \leq \text{維修時數正增量} \leq 100$ )

第三類維修類別中總共有 16 個事故碼。設定在最小支持度為 10%，最小信賴度為 80%。我們挑出 7 個高顯著性關聯規則，如表 6。



表 6 第三類第一次分析之高顯著性關聯規則表

編號	事故碼	支持度	信賴度	增益
1	64=>900	12.50	100.00	1.14
2	144=>309	18.75	100.00	4.00
3	889,898=>159	12.50	100.00	8.00
4	159,898=>889	12.50	100.00	8.00
5	159,889=>898	12.50	100.00	8.00
6	898=>159,889	12.50	100.00	8.00
7	189=>900	18.75	100.00	1.14

(4) 第四類(10 < 維修時數正增量)

第四類維修類別中總共有 54 個事故碼。Apriori 演算法的參數設定在最小支持度為 5%，最小信賴度為 80%。第一次分析後得到 17 個關聯規則。我們從全部的關聯規則中挑出 7 個高顯著性關聯規則，如表 7。

表 7 第四類之高顯著性關聯規則表

編號	事故碼	支持度	信賴度	增益
1	276=>900	18.52	100.00	1.04
2	144,276=>900	12.96	100.00	1.04
3	315=>144	5.56	100.00	3.86
4	315,900=>144	5.56	100.00	3.86
5	315=>144,900	5.56	100.00	4.15

3. 不同風場內事故碼與風機維護的關聯性分析

在彰濱工業區中，台電的 31 部風力發電機位於兩個風場內。本研究因此進行了不同風場內事故碼與風機維護的關聯性分析。台電 31 部風力發電機，在風場 1 為機器 1 到 23，風場 2 則為機器 24 到 31。希望透過資料探勘的技術，找出事故碼發生的可能原因。

(1) 風場分析 1 - 風場 1(Machine 1 to 23)

最小支持度以及最小信賴度分別設定為 10% 以及 80%。挑出 6 個高顯著性的規則，如表 8。

表 8 六個高顯著性關聯規則

編號	事故碼	支持度	信賴度	增益
1	144=>900	26.75	91.30	1.04
2	276=>900	23.48	89.90	1.03
3	329=>900	24.02	93.62	1.07
4	144,329=>900	13.56	95.51	1.09
5	276,329=>900	10.01	94.83	1.08
6	701=>900	12.37	87.74	1.00

(2) 風場分析 2 - 風場 2(Machine 24 to 31)

最小支持度以及最小信賴度在風場 1 的研究分析實驗中設定為 10% 及 80%，在此則設定為 5% 及 50%；分析後獲得 17 個關聯規則，從中挑選出 3 個高顯著性關聯規則，如表 9。

表 9 三個高顯著性關聯規則

編號	事故碼	支持度	信賴度	增益
1	149=>900	15.35	94.59	1.00
2	275=>900	6.58	100.00	1.06
3	79=>900	5.07	96.30	1.02

(四) 風機大維護的預測分析

在四種維修類別中，第四類所需耗費的維修時數最長；若能分析事故碼，達成預測風力發電機大維護發生的可能性，將降低維修的成本與提高效率。

本研究先對前一個 NAN 週期內的事務碼進行分析，進而預測風機大維護是否發生。本研究之風機大維護預測分析系統包含：資料前處理，關鍵事故碼挖掘，預測模型建立。

1. 資料前處理

為了收集與分析第四類維修類別的前一個 NAN 週期內的事務碼，我們重新整理所有風機第四類維修類別的前一個 NAN 週期的資料表單。

2. 關鍵事故碼挖掘

可推測前一個 NAN 週期內的事務碼中，存在若干個關鍵事故碼導致風機大維護的發生。設定在最小支持度為

5%，最小信賴度為 50%，最小增益為 2。基於此設定，找到了 7 個關聯規則，如表 10。

表 10 找關鍵事故碼之高顯著性關聯規則

編號	事故碼	支持度	信賴度	增益
1	154=>144	8.51	100.00	3.62
2	309=>144	12.77	60.00	2.17
3	417=>144	6.38	100.00	3.62
4	154,900=>144	8.51	100.00	3.62
5	309,900=>144	12.77	60.00	2.17
6	144,900=>309	12.77	50.00	2.35
7	417,900=>144	6.38	100.00	3.62

### 3. 風機大維修於不同風場的分析

我們分別就兩個不同風場的大維修週期進行分析。將所有的風機分為兩個不同的風場(風場 1 與風場 2)，並試著為每個風場找出關聯規則。

### 4. 預測模型建立

由風場 1 與風場 2 的關聯規則結果可歸納出兩個現象：

- (1) 發生在風場 1 的事故碼 329、340、417，在風場 2 中不會發生。
- (2) 發生在風場 2 中的事故碼 276、309，在風場 1 中不會發生。

此外為有效預測風機大維修的發生，時間條件亦必須納入考量。本研究基於時間條件與分析結果得到下列兩個預測規則如下：

(1) 規則 1：

當小 NAN 週期連續發生次數大於等於 8 次時，則大維修週期將會發生。

(2) 規則 2：

當小 NAN 週期連續發生小於 8 次時，且前一個 NAN 週期的事故碼中至少包含事故碼 147、154、214 或 309

四種其中一種，則大維修週期將會發生。

(3) 時間條件：

當規則 1 或規則 2 發生，並且 NAN 週期的時間差小於 14 天。

由表 11 可以看出，本研究開發之大維修週期預測模型，目前準確率約有 66%，已具有基本雛形。

表 11 大維修週期預測準確率

時間條件	對象	14 天	30 天	45 天	
		規則 1	風機	50%	55.56%
滿足條件	規則 1	大維修週期	29.79%	31.91%	31.91%
		規則 2	風機	44.44%	61.11%
	規則 2	大維修週期	27.66%	61.11%	61.11%
		規則 1 或 2	風機	66.67%	77.78%
	規則 1 或 2	大維修週期	54.45%	65.96%	65.96%

## 四、惡意郵件過濾系統

收發電子郵件已是人們社交與獲取資訊的重要工具之一，特別是隨著智慧型手機的盛行，電子郵件已成為一項不可或缺的通訊服務。電子郵件使用者目前遇到最大的困擾就是惡意郵件；隨著電子郵件服務的普及和資訊科技進步，惡意郵件氾濫的情況非但沒有獲得任何改善，反而在經過演化變種後，發展出更多種類的威脅，對於個人及企業之資訊安全防護產生嚴重衝擊。

為了解決惡意郵件帶來的困擾，許多過濾惡意郵件的方法及理論不斷被提出。然而惡意郵件不斷與時俱進且內容差異性高，目前仍沒有一套方法或理論能百分之百的過濾所有惡意郵件。事實上，在過濾惡意郵件時必須以低誤判率為前

提，進而再提升惡意郵件的攔截率。畢竟重要的郵件若被誤判為惡意郵件而遭刪除，其嚴重性遠大於使用者花費時間整理一兩封惡意郵件。

本研究所提之惡意郵件分類系統即是基於 Hadoop 平台發展之應用，以 Mahout 機器學習函式庫中的 TF-IDF(Term Frequency-Inverse Document Frequency)文字特徵擷取與樸素貝氏分類法(Naive Bayes Classification)，建立一套快速且有效的惡意郵件分類系統。

### (一) TF-IDF 文字特徵擷取

為了處理大量的電子郵件內文，必須先透過文字特徵擷取演算法，將文字量化並轉換為有意義的數字，以進行下一步的分析，進而建立出穩健的分類器模型。本研究使用 Mahout 機器學習函式庫中的 TF-IDF 演算法來進行文字特徵擷取；TF-IDF 是一種常用於文字探勘(Text Mining)的加權量化技術，透過統計方法，評估每個單詞對於電子郵件的重要程度，由 TF (Term Frequency, TF) 值與 IDF (Inverse Document Frequency, IDF)值組成。

#### 1. TF

TF 值代表著一個單詞在一件電子郵件中出現的頻率，可由下列公式計算。

$$TF(i, j) = \frac{n(i, j)}{\sum_k n(k, j)} \quad (5)$$

其中  $n(i, j)$  表示第  $i$  個單詞在文件  $j$  之中出現的次數，而 TF 值即是對這個次數進行正規化以避免某些篇幅較長的電子郵件有誤差的情形。舉例來說，在一封電子郵件中，「discount」與「health」這兩個單詞出現的次數分別為 10 次與 6 次，而該電子郵件的總字數為 50 個單詞，則「discount」的 TF 值為  $10/50 = 0.2$ ，而「health」的 TF 值則為  $6/50 = 0.12$ 。因此「discount」對這一封電子郵件而言

較具代表性；若此電子郵件是一封惡意郵件的話，則可進一步推論「discount」這個單詞是惡意郵件的一項指標。

### 2. IDF

IDF 值代表的則是一個單詞在所有電子郵件中所佔的重要性，其概念為：若某一個單詞出現在大多數的電子郵件中，則代表這一個單詞的重要性低，如英文郵件中常用到的「dear」與「regards」等。反之，若某一個單詞僅出現在特定性質的電子郵件中，則這些單詞的則會有較高的 IDF 值，代表這些單詞擁有較高的重要性；例如只會出現在廣告郵件中的「discount」、「free」，或是只會出現在病毒郵件中的色情相關單詞「porn」、「sex」等。IDF 值的計算方式如下，其中  $D$  表示所有的電子郵件數量，而分母則是所有出現單詞  $x_i$  的文件總數。

$$IDF(i) = \log \frac{|D|}{|\{j: x_i \in d_j\}|} \quad (6)$$

藉由算出每個單詞的 TF 及 IDF 值後，可進一步由下列公式推算出其 TF-IDF 值。

$$TF - IDF(i, j) = TF(i, j) \times IDF(i) \quad (7)$$

### (二) 樸素貝氏分類法

樸素貝氏分類法是一種基於機率所發展的學習法(Probabilistic Learning)<sup>[12]</sup>。一般而言，樸素貝氏分類法在應用於惡意郵件分析時，都是藉由統計每個單詞在訓練資料集內的出現頻率，也就是利用 TF 值作為其文字特徵進行計算，最終藉由比較郵件中每個字屬於正常郵件或惡意郵件的機率來決定該郵件的類別。

### (三) 實驗

實驗於 Hadoop 平台上進行；電腦配置皆為 Intel i7-4770 CPU 及 4GB 記憶體。

現今 Spamassassin 這套開源系統最為廣泛使用，因此本研究的實驗結果將拿來與 Spamassassin 的結果進行比較。用來進行實驗的電子郵件資料集為 Enron-Spam Datasets，該資料集中的電子郵件為 Enron 公司的內部郵件，並分類了 21,000 封正常郵件與 9,000 封惡意郵件，共 30,000 封電子郵件。

為了評估郵件的分類結果，本研究使用混淆矩陣(Confusion Matrix)及召回率(Recall)、精確率(Precision)、準確率(Accuracy)以及 F-measure 來進行效能比較。

根據上述之實驗環境，本研究取所有資料集中的 18,000 郵件作為訓練資料集，其中包含 10,200 封的正常郵件與 7,800 封的惡意郵件，實驗結果如表 12、13 所示：

表 12 分類結果比較

	Accuracy	F-measure
Spamassassin	0.921	0.864
Proposed	0.928	0.904

	Recall	Precision
Spamassassin	0.864	0.864
Proposed	0.995	0.831

表 13 執行時間比較

	Training	Testing	Average
Spamassassin	4795s	3189s	3.758 s/封
Proposed	1257s	838s	0.071 s/封

根據實驗結果，本研究所提的方法在精確率上能與 Spamassassin 有相近的效能表現，且召回率大幅領先 13.1%；代表本研究所提方法幾乎可攔截到所有 Spamassassin 能攔截到的惡意郵件，且正常郵件的誤判率比 Spamassassin 低了許多。此外本研究透過 Hadoop 平台的分散式運算架構大幅縮短判斷電子郵件的時間，提供了一套穩健

且快速的惡意郵件過濾系統。

### 五、電子郵件關聯性視覺化

資料視覺化是把繁複巨量的原始資料以一直觀的方式來呈現，讓使用者能更輕易的觀察出資料之間的關聯性。本研究目前使用 Gephi 來進行資料視覺化的開發<sup>[13]</sup>，將台電公司所有電子郵件的寄件者與收件者間的關聯性轉換為網路圖，使管理者可透過網路圖找出每個電子郵件帳號之間的關聯性，並進一步找出可疑的電子郵件往來紀錄。

網路圖是由節點(Node)和連結(Link)組成的圖。如圖 15 所示，我們使用台電公司資訊處提供之電子郵件日誌檔(Email Log)進行分析，從原始日誌檔中擷取出每封電子郵件的寄件者與收件者，轉換為 CSV 檔後輸入 Gephi 以建立出關聯圖中的節點與連結。在網路圖中每個節點代表一個電子郵件帳號，而節點與節點之間的連結則代表這兩個帳號彼此之間有郵件往來，若往來的頻率越高，則節點在關聯圖上的位置越接近，而這些位置較接近的帳號最終會形成一個群組；在關聯圖上以顏色來區別帳號所屬的群組。

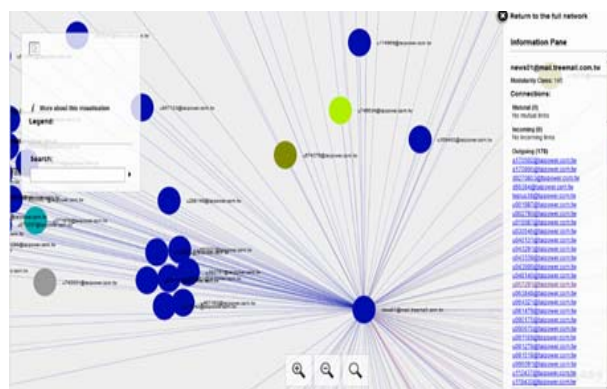


圖 15 Gephi 網路圖

### 陸、結論

本研究根據國外電力公司在巨量資料的發展調查，亦架設巨量資料分析平台來實現台電各類資料之分析<sup>[14]</sup>。以下為本研究的主要成果：

- 一、蒐集與研究國外電力在巨量資料的發展。各先進國家在巨量資料發展的趨勢，可作為台電公司在決定發展策略的依據。
- 二、研究台電公司各單位之資料特性，並提出 APT 分析、用戶分析、饋線斷路事故分析、風機健康狀況估測、虛功配置最佳化、需量反應潛在用戶分析、配電設備狀態診斷及電力品質監測等數項可發展之應用構想。
- 三、根據電壓驟降資料，分析出易受特定災害影響地區，可提供台電作為對特定區域進行保護措施的參考。部分事故原因在設備不良，建議台電加強人員訓練並建立標準程序。
- 四、研究彰濱風場的風速與電力輸出、進行可用率分析和短時間輸出變化分析，提出彰濱風場具有潛力和提升總電力輸出量的方法與建議。
- 五、架設基於 Hadoop 與 Storm 之巨量資料分析平台，提供可有效儲存大量資料的 HDFS 分散式儲存系統，並結合 Mahout 提供一系列機器學習演算法的 MapReduce 架構以進行資料分析。
- 六、建立資通安全之應用案例，使用 Mahout 函式庫中的 TF-IDF 演算法與樸素貝氏分類法在 Hadoop 上開發惡意郵件過濾系統之應用，分類準確率可達 92.8%，且所耗費的時間僅需 Apache Spamassassin 的 0.018 倍，是一套穩健且快速的資通安全服務。
- 七、建立電子郵件關聯性視覺化系統，以網路圖方式呈現台電公司電子郵件使用者間的關係。
- 八、利用 CLARA 演算法對台電 3400 個低壓 AMI 用戶進行分群，找出與在 2014 年尖峰日負載曲線相似的用戶，可供未來進行超載管理、停電管理、降壓節能、負載平衡、非技術性損失區域偵測與新增設備的運行管控等應用之參考。
- 九、利用 AMI 電表的量測值與即時 SCADA 資料發展配電饋線狀態評估系統，可即時監控

配電系統的運轉狀況，進而提供系統長期規劃之應用，如設備容量規劃、電動車充電規劃及重載設備的辨識等。

- 十、將低壓 AMI 用戶應用分群演算法程式碼以 MapReduce 架構改寫並實現在 Hadoop 巨量資料平台上；測試結果顯示出 Hadoop 平台處理巨量資料的高效能。
- 十一、透過 Apriori 演算法對台電位於彰濱工業區的風力發電機資料進行分析與探勘，挖掘出若干個關聯規則，並且建立第四類維修類別發生的預測模型。

全球的電力公司基於不同的業務結構，社會責任，技術開發等考量，開發出多樣性的巨量資料應用，大多數公司把需求管理和用戶服務列為優先考量。許多電力公司與 IT 公司合作開發了巨量資料分析在智慧電網上的應用。未來的智慧電網運行和能源管理將是資料密集型任務。目前電網的巨量資料應用經驗還相當有限，面對諸多巨量資料應用的瓶頸及挑戰，需投資開發更先進和高效的演算法對數據進行分析。對台電公司而言，現階段需要進行更多的示範計畫以獲得實際經驗並評估其效益，宜建立巨量資料應用設計和部署的標準程序，提高公司經營績效。

風力發電在台灣尚未普及。在不同的地理環境影響下，風機會有不同的設置考量，觀察記錄風機的運轉和故障檢修狀況，可以作為日後增建風力發電設備的重要參考資料。此分析案例統計了最常出現的故障原因，大多數是因風速過大而導致風機停止發電。這同時也代表彰濱風場是富含風力能源的風場，如果在機組設備可以承受的狀況下，調高高風速停機限制，將可以更有效運用彰濱風場的自然風力資源。

由於電力供給端面臨電廠汰舊與興建問題，需求面管理愈顯重要，如何行銷需量反應計畫，推展家電聯網及開發 AMI 巨量資料的加值應用，將是台電公司未來應思考推動的重點。許多國家利用電表資料分析結果，了解現有及未來輸配電計畫及規則的有效性。AMI 的加值效益包



括配電系統的監視能力、事故及竊電偵測。國外許多配電公司已確認且肯定了將即時配電系統運轉狀態視覺化及即時資料的增加所帶來的價值，包括系統運轉成本的降低、更好的配電設備資產管理及投資，及未來智慧電網佈建的策略性規劃，如新的計價週期及方式、新費率、具智慧型換流器之分散式電源併網、需量反應及智慧家電控制，皆可由 AMI 資料衍生出來。

對台電公司而言，現階段需要進行更多的示範計畫以獲得實際經驗並評估其效益，宜建立巨量資料應用設計和部署的標準程序，提高公司經營績效。在巨量資料應用分析上，不管先進技術如何進步，這些技術應用的成功，還是取決於人。找到合適的分析人員並不是一件容易的事，公用事業可能面臨的人才問題，包括：

- 一、在公司內誰是理想的分析員工？他們是否存在？
- 二、在公司內部哪裡能找到分析人員？如何找到這人？
- 三、供應商是否能為公司的分析需求效力？

## 柒、誌謝

本論文為台灣電力股份有限公司委託研究編號 TPC-546-030-0135 計畫，由於台電公司的支持，使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

## 捌、參考文獻

- [1] “Utilities and Big Data : Accelerating the Drive to Value,” A Utilities Transformation Study from Oracle Utilities, Jul.2013, [online] available: <http://www.oracle.com/>.
- [2] Apache Hadoop, [online] available: <https://hadoop.apache.org/>.
- [3] Apache Mahout, [online] available: <https://mahout.apache.org/>.
- [4] Apache Storm, [online] available: <https://storm.apache.org/>.

- [5] Apache Flume, [online] available: <https://flume.apache.org/>.
- [6] “An EPRI update on the Multi-Year International Demonstrations on “Big Data”,” Electric Power Research Institute, Nov.2013, [online] available: <http://smartgrid.epri.com/>.
- [7] “Industry Snapshot on Utility Big Data,” Phoenix Forums, Oct.2013, [online] available: <http://phoenix-forums.com/>.
- [8] “Utility Data Analytics Survey,” eMeter, 2013, [online] available: <http://www.emeter.com>.
- [9] J. Deign and C.M. Salazar, “Data Management and Analytics for Utilities,” Smart Grid Updates, 2013, [online] available: <http://www.smartgridupdate.com/>.
- [10] K. Fukushima, M. Kato, I. Hino, S. Terasawa, T. Yamamoto, T. Ooishi, “Failure sign monitoring system for large-scale plants applying system invariant analysis technology (SIAT),” *NEC Technical Journal*, vol. 9, no.1, Jan. 2014.
- [11] 簡禎富、許嘉裕，資料挖礦與巨量資料分析，初版，台灣：前程文化事業有限公司，2014年9月。
- [12] M. Sahami, S. Dumais, D. Heckerman, and E. Horvitz, “A Bayesian Approach to Filtering Junk E-mail,” in *Proceedings of AAAI Workshop on Learning for Text Classification*, 1998, pp. 98-105
- [13] M. Bastian, H. Sebastien, and J. Mathieu, “Gephi : An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks,” in *Proceedings of ICWSM*, 2009, pp. 361-362.
- [14] 葉家宏、盧展南等，「巨量資料在電力事業的應用研究」，完成報告，2016年。

# 結合能源管理與自動需量反應 之智慧建築需求面管理實例

The Smart Building Demand Side Management System that Integrated with Smart Building Management and Automated Demand Response System

張作帆\*  
Chang, Tso-Fan

王金墩\*  
Wang, Chin-Tun

陳佳祥\*  
Chen, Chia-Hsiang

陳文瑞\*\*  
Chen, Wen-Ruei

吳建明\*\*  
Wu, Chien-Ming

楊宏澤\*\*\*  
Yang, Hong-Tzer

## 摘要

近年來民眾對於永續發展之訴求逐漸高漲，核能已經不是我國供電選項，而火力發電量也因為環境因素受到限制。集中型發電廠擴增日益困難，加上輸配電線路與變電廠更新與新增不易，在用電需求逐年增加的情況下，我國電力供給調度已顯捉襟見肘。世界各國也同樣面對地球暖化與能源選擇的問題，因此紛紛導入分散式能源，但傳統電力網路系統尚無法完全因應多元化的能源供給，因此各國積極升級現行電網系統，推動智慧電網的技術發展與系統建置，希望透過用電端種種節能與需量管理的新技術推動，來弭補供電端的不足，而其中，有關節約用電與提升設備用電效率，已成為首要選項。

為倡導節約能源應用與服務，台電公司綜合研究所於 103 年即於樹林研究所區第一試驗大樓建置「智慧建築需求面管理系統」，包括 BEMS (Building Energy Management System)系統與 ADR (Automated Demand Response)系統兩個主要的部份。為落實用電責任管理，並將第一試驗大樓分為四個用電責任區域間，即時監測四個用電區域的用電量並計算即時可抑低額度以進行負載管理調度，平時可協調不同區域維持第一試驗大樓之整體用電低於事先定義的容量，未來更可以配合台電尖峰時段緊急型和計劃性及臨時性減少用電措施進行負載抑低，或者透過盤點大樓負載可抑低總量，參與需量競價措施，下文將探討第一試驗大樓智慧建築需求面管理建置及試驗效益。

## Abstract

In recent years, with the rising demand for sustainable environment, nuclear power is no longer considered a widely acceptable option, while the expansion of thermal power generation is also faced with difficulty due to the environmental protection consideration. As a result, the construction of new centralized power plants and new T&D lines is facing increasingly difficulty. Meanwhile, as the electricity demand increases every year, the dispatching of electricity is also getting more complicated and difficult. At the same time, many countries

\*台灣電力公司綜合研究所

\*\*財團法人資訊工業策進會

\*\*\*國立成功大學電機系

around the world are trying to resolve the problem of global warming by developing distributed energy. However, since the traditional power grid is not able to operate efficiently with the massive introduction of distributed energy into the system, many countries are actively seeking to upgrade their existing grid system to the smart grid to effectively incorporate distributed energy resource and to balance the power supply and demand. In the application of smart grid, energy efficient and conservations have become the priority considerations for those new technologies.

To promote energy saving applications and services, Taipower Research Institute had developed Smart Building Demand Side Management in the First Experiment Building at Shulin Research Campus. The new system includes BEMS (Building Energy Management System) and ADR (Automated two main parts Demand Response) system. The power consumption of whole building is divided into four parts of responsibility, while the system monitors the power distribution of the whole building and calculate the dispatchable demand in real time. The system is designed to coordinate the demand consumption between the four parts to keep the overall building demand under the limit of pre-defined demand. In the future, this will allow TPRI Shulin campus to participate in official Demand Bidding program. This article explains in details the system experiment of smart building demand side management and its benefits.

**關鍵詞(Key Words)：**自動需量反應(Automated Demand Response)、OpenADR (Open Automated Demand Response)、建築能源管理系統(Building Energy Management System)、需求面管理(Demand Side Management)。

## 壹、前言

在 2000 年美國加州電力危機及 2003 年美東大停電事件後，美國政府啟動一系列智慧電網計畫<sup>[1]</sup>，來改善自 1950 年代開始建置運轉之老舊電網，使之更穩定可靠。在智慧電網計畫中，有兩個優先項目，一是智慧電表系統導入，使電力公司能掌握更即時用戶端用電資訊及電網末端供電品質；另一即是自動需量反應系統建立與服務推動，供電端透過資通訊系統協商用戶端，於指定日期指定時段減少約定需量，將過去被動誘導用戶配合，轉變為主動協商用戶需量降載，使電力公司在供給調度上，具有更好輔助工具，也帶動自動需量反應新興能源服務產業。

自動需量反應是近年來越來越受重視的電力公司負載管理服務，屬於需求面管理的一端。而需求面管理的另一端即是能源效率提升，並且已經行之有年，諸如包括電氣設備用電效率之提升，用電行為之改變、以及能源管理系統的導入，都屬於需求面管理的範疇。台電公司基於推動節能減碳的理念，積極扮演國內節能減碳領頭羊的角色，率先於台電自身場域進行需求面管理之示範與建置，本文章將介紹於台電綜合研究樹林所區所建置之智慧建築需求面管理系統的實際案例，探討可卸載設備之規畫、及時用電及可卸載額度計算、以及卸載效益之量測等等。藉由此實際建置需求面管理之實際經驗，做為未來擴大推動之參考依據。

## 貳、用電屬性及負載盤點

### 一、綜研所樹林所區用電屬性

台電綜合研究所樹林所區簽訂之經常契約容量為 1,400 kW，包括所區內各大樓的總用電需量。因缺乏分區的用電量測，無法掌握各大樓各自的用電量與用電趨勢，因此雖然用電超約時有所聞，但是無法有足夠的資訊來計算最適合的契約容量。

圖 1 是 8 月 11 日全天的用電需量曲線，包括樹林所區整體用電、能源噴焊大樓用電曲線、及第一試驗大樓用電曲線。由圖可見，第一試驗大樓為典型的辦公室空間，用電集中於上午 7:30 到下午 4:30。能源噴焊大樓是特殊類型的工廠空間，在 8 月 11 日當天有兩個尖峰，分別出現於上午 10 點和下午兩點。用電期間並且一直延續到下午六點以後。另外，樹林所區用電總量曲線變化與能源噴焊大樓較為接近，也可看出能源噴焊大樓用電佔有樹林所區用電一個重要比例。

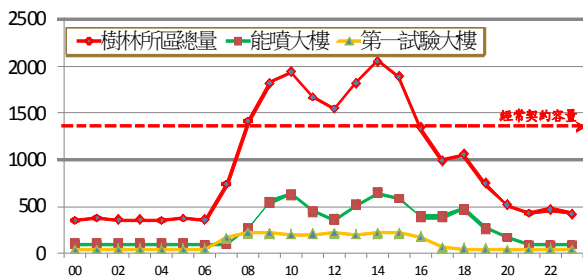


圖 1 8/11 樹林所區用電曲線圖

由圖 1 可以很清楚看到，8 月 11 日當天幾乎整個上班時間，所區的用電需量都在經常契約容量之上，甚至超過 600kW 以上，超約容量幅度相當大，因此樹林所區每年的超約附加費用甚為驚人。

圖 2 是從 2014 年 7 月到 2015 年 6 月期間，樹林所區每月最高用電需量的曲線圖，在一年 12 個月內，有 11 個月的最高用電需量都超過經常契約容量，因此樹林所區之經常契約容量有相當

大的調整空間。

本建置案將裝設高壓電錶，量測所區內各主要建築的用電，將可提供了解所區內各主要建築的用電模式與趨勢，有助於計算並規劃所區最有效之經常契約容量。

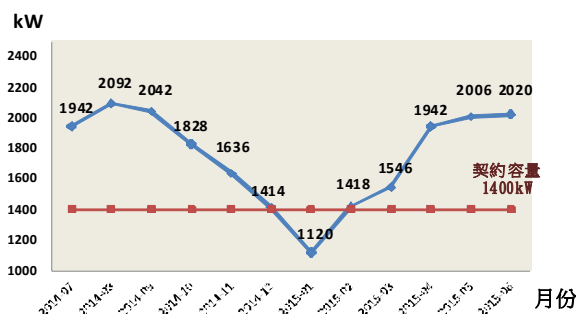


圖 2 樹林所區各月最高需量

### 二、第一試驗大樓用電設備盤點

第一試驗大樓是樹林所區主要行政作業大樓，具有指標性的角色。大樓從 B1 到 3F 共有四層樓，共有 45 台獨立式空調、六台飲水機及熱水機、各部門照明共 109 迴路、動力與插座共 16 迴路、以及 4 台冰水主機。本建置案為達到提高能源效率以及參與負載管理之目的，於第一試驗大樓重要設備上裝置低壓電表，以了解重要是設備的用電模式。電表安裝如下：

- (一) 獨立式空調 45 台，各配置 1 具電表
- (二) 飲水機熱水器 6 台，各配置 1 具電表
- (三) 第一試驗大樓各部門動力與插座 16 迴路，配置多迴路電表 9 具
- (四) 冰水主機 4 台，配置多迴路電表 1 具，量測 4 迴路
- (五) 電梯 1 台，配置 1 具電表

本建置案為配合電力公司需量反應命令，除了安裝電表量測各設備用電外，也於照明迴路、獨立式空調、冰水主機上安裝控制裝置如下：

- (一) 照明 109 迴路，配置 56 台迴路控制器
- (二) 獨立式空調中之 30 台，配置 30 台迴路控制器
- (三) 冰水主機 4 台，各配置 1 台冰機控制器，合計 4 台

### 三、第一試驗大樓用電設備盤點

透過累積第一試驗大樓用電資料，進一步盤點可停電力設備及不可停電力設備，可計算出第一試驗大樓之可抑低潛在額度，以作為配合電力公司負載調度之依據。

表 1 為針對第一試驗大樓進行最大可停電力需量盤點之結果，約為 243kW。其中，可抑低潛在額度為 108kW，約佔經常需量之 45%。

表 1 第一試驗大樓最大可停電力需量盤點

可停電力設備	裝置容量	最低需量	可抑低潛在額度
照明迴路(紅)	9 Kw	0 Kw	9 Kw
照明迴路(黑)	9 Kw	0 Kw	9 Kw
獨立式空調	60 Kw	30 Kw	30 Kw
中央冰水主機	120 Kw	60 Kw	60 Kw
不可控	45 Kw	45 Kw	0 Kw
合計	243 Kw	135 Kw	108 Kw

表 2 為第一試驗大樓夏季可停電力需量盤點，夏季平均容量約為 203kW，可抑低潛在額度為 83kW，約佔經常需量之 40%。

表 2 第一試驗大樓夏季可停電力盤點

可停電力設備	夏季平均容量	最低需量	可抑低潛在額度
照明迴路(紅)	4 Kw	0 Kw	4 Kw
照明迴路(黑)	4 Kw	0 Kw	4 Kw
獨立式空調	30 Kw	15 Kw	15 Kw
中央冰水主機	120 Kw	60 Kw	60 Kw
不可控	45 Kw	45 Kw	0 Kw
合計	203 Kw	120 Kw	83 Kw

透過盤點第一試驗大樓最大及夏季可停電力需量，針對電力公司自動需量反應事件三個等級(高/中/低)，能源管理者可以規劃各自所要卸載之設備，以此和電力公司協商參與容量與激勵金(或電費抵扣)之基礎。

因為電力公司依據負載調度需求，會發出不同卸載等級的需量反應事件，能源管理者為配合卸載事件等級進行卸載，可以在能源管理系統中針對事件等級設定所要調度的設備。

本建置案規劃之卸載設備如下：

- (一) 抑低等級--高：83 kW (約夏季需量之 40%)
  1. 照明迴路(紅)
  2. 照明迴路(黑)
  3. 獨立式空調，完全停機
  4. 冰水主機輸出上限設定為 75%
- (二) 抑低等級--中：49 kW (約最大需量 24%)
  1. 照明迴路(紅)與(黑)各輪流卸載 15 分
  2. 獨立式空調，週期性控制，冷氣 15 分，送風 15 分
  3. 冰水主機輸出上限設定為 75%
- (三) 抑低等級--低：34 kW (約最大需量 16.7%)
  1. 照明迴路(紅) 與 (黑) 各輪流卸載 15 分
  2. 冰水主機輸出上限設定為 75%

### 參、系統架構

需求面管理是電力系統上透過抑低用電端用電的方式，來平衡供電端不足的手段。其考量可能是維持系統穩電，也可能是電力成本效益的考量，如同上節所述，需求面管理包括能源效率提升與負載管理兩部份。本案例建置之目標為透過資通訊系統手段來達到需求面管理的目的，包括透過建立建築能源管理系統來達到需求面管理所需之能源效率提升目的，以及透過建立自動需量反應系統來達到需求面管理所需之負載管理目的。如圖 3 所示，本案例配合第二期能源國家型計劃<sup>[2]</sup>研究成果，研發需求面管理系統，其組成架構包括：

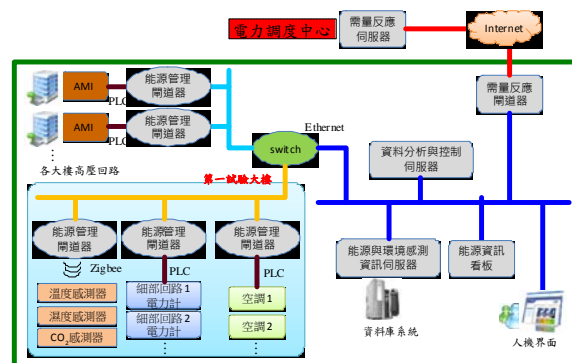


圖 3 台電樹林所區智慧建築需求面管理系統架構



- 一、需量反應伺服器
- 二、需量反應匣道器
- 三、能源管理伺服器
- 四、能源管理匣道器
- 五、能源與環境感測資訊伺服器
- 六、能源資訊看板

第一試驗大樓之智慧建築需求面管理導入，分三個步驟進行：

第一步驟：建置 EMS 能源管理系統，收集、分析用電現況，找出有節能效益之可控制設備；

第二步驟：可控制設備安裝控制裝置及網路配置，建立控制模式及可抑低需量 Profile；

第三步驟：規劃自動需量反應系統，針對可臨時停用裝置及可計畫停用裝置，建立需量反應制度，包含義務與權益。

以下分別說明組成智慧建築需求面管理的兩部分：智慧建築能源管理系統以及自動需量反應系統。

### 一、智慧建築能源管理系統

智慧建築管理系統在需求面管理中扮演核心的角色，負責執行兩個重要的工作：即時耗能量測以及控制。即時耗能量測是實施需求面管理的第一步；從能源效率提升角度而言，掌握了用戶端耗電量，才能進一步分析用戶用電模式或行為，並透過改變製程或用電習慣的方式，提出節能改善空間；以負載管理而言，透過對用戶端耗電量的了解，可區分負載類型為可中斷用電類型或不可中斷用電類型，而可中斷用電類型又可分為可移轉用電類型或是不可卸載用電類型。舉例來說，銀行之保全系統為不可中斷類型之用電類型，而充電設備、部分工廠製程或家用洗衣機為可移轉之可中斷負載，非製程用之大部分空調則為不可移轉之可中斷用電類型。

本建置實例之智慧建築能源管理系統提供五方面的資訊。如圖 4 所示，首先於智慧建築能

源管理系統首頁顯示用電統計資訊，由左至右分別是「最高需量/契約容量」比例、「當日已用電量」、「當月已用電量」、「即時電費」、「契約容量」、「目前電價」等。



圖 4 智慧建築能源管理系統介面

其次，首頁上還有「電器」、「用電分析」、「需量資訊」、及「需量反應」等四個資訊介面，選擇其中任一個資訊介面，將會提供更詳細的資訊說明。各資訊介面所規劃顯示的內容如下：

#### (一) 「電器」資訊介面

「電器」資訊介面提供使用者觀察能源管理系統所管理的所有電器的操作狀況，包括電器是否啟動中，以及所耗功率等資訊。圖 5 是「電器」資訊介面，在介面上可以選擇各樓層的每一電器狀態，以及各樓層 110v 與 220v 迴路的即時用電功率。圖 6 是在該樓層有冰水主機時，點選介面上之冰水主機，將會顯示各冰水主機的即時耗電功率。

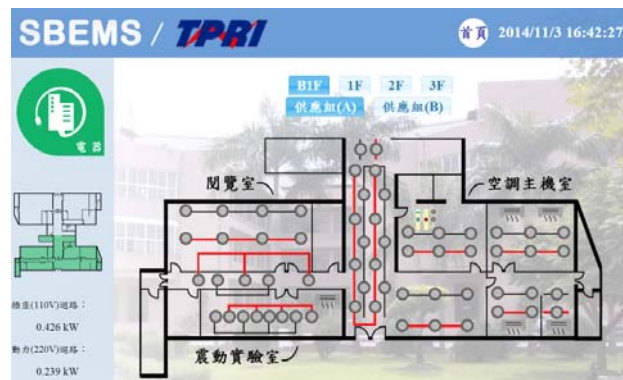


圖 5 「電器」資訊介面

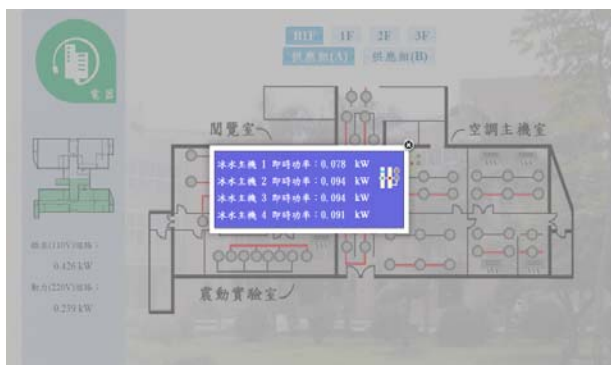


圖 6 「電器」資訊介面顯示冰水主機即時耗電功率

(二) 「用電分析」資訊介面

「用電分析」資訊介面如圖 7 所示，提供使用者查詢有安裝高壓電表的七棟大樓的即時、歷史負載資料，以及查詢第一試驗大樓各部門、細部負載資料。



圖 7 「用電分析」資訊介面

圖 8 是「用電分析」資訊介面中顯示的「用電需量」頁次資訊，其上顯示樹林所區內，有安裝高壓電表的七棟大樓的分時即時用電需量。



圖 8 「用電分析」資訊介面之「用電需量」頁次

(三) 「需量資訊」資訊介面

「需量資訊」資訊介面提供使用者自動需量反應事件資訊，包括當前事件(兩個小時內即將執行的事件)、下次事件(兩個小時後將執行的事件)、上次事件(最近一次已經執行過的事件)，如圖 9 所示。

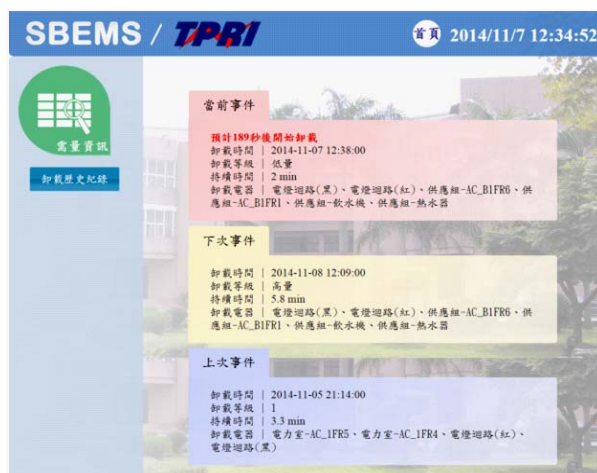


圖 9 「需量資訊」資訊介面

(四) 「需量反應」資訊介面

「需量反應」資訊介面提供使用者選擇參與自動需量反應方案的各種設定，包括讓使用者選擇能源管理系統在收到自動需量反應事件時，要卸載那些區域的那些設備。如圖 10 所示，使用者可以直接在介面上點選所要卸載的設備，被點選的設備將會以黃色亮點表示，並且被加入左側的卸載列表，以達到介面上「預估可卸載量」可滿足「約定卸載量」的目標。

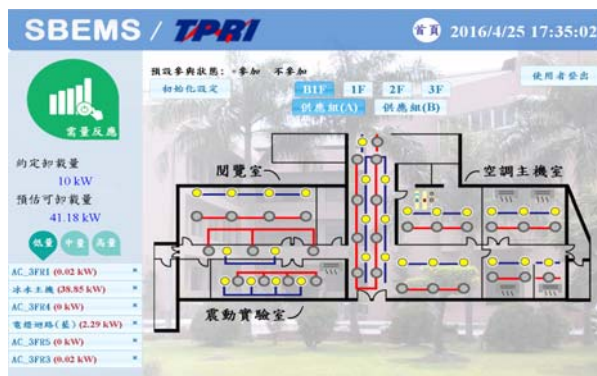


圖 10 「需量反應」資訊介面



圖 11 之「初始化設定」介面提供使用者設定當自動需量反應事件之卸載等級為高、中、或低時，能源管理系統所需要達到的卸載比例，以及卸載量(kW)。



圖 11 自動需量反應事件之卸載等級設定

另外，當能源管理系統的排程中發現兩個小時內有卸載事件將要執行時，能源管理系統的介面上將會自動跳出「需量反應卸載提示」視窗(如圖 12)，顯示此次需量反應事件的資訊，包括事件倒數計時(以秒為單位)、開始卸載時間、卸載持續時間、卸載總容量、此次事件將卸載的設備等資訊。

能源管理系統提供「能源可視化介面」，使用者可以了解各單位和各類設備的用電狀況，作為自主節能的決策依據，也可以作為盤點可卸載額度的資訊，以配合電力公司進行負載調度。

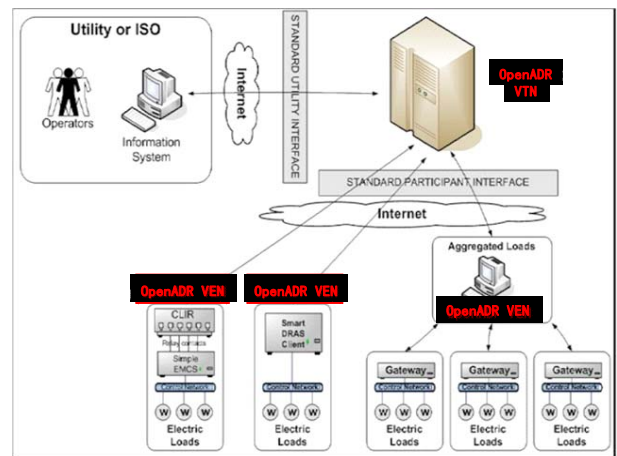


圖 12 自動需量反應事件執行通知提示

## 二、自動需量反應系統

在本實際案例中所建置之自動需量反應系統是採用 OpenADR 2.0a 規格<sup>[3]</sup>。OpenADR<sup>[4]</sup>是目前國際上唯一的自動需量反應產業標準，目前已經被許多國家所採用，包括美國、歐洲、日本、韓國等國家。並且已經被 IEC(International Electrotechnical Commission)所接受<sup>[5]</sup>，目前由 IEC 公開審閱，未來將會成為 IEC 國際標準的一環。OpenADR 的應用架構如圖 13 所示。

OpenADR 規範了電力負載調度端(例如電力公司調度處)與用電端之間的需量反應事件傳輸資料格式與通訊協定；電力負載調度端建置 OpenADR VTN(Virtual Top Node)來扮演發送事件的伺服器，而用戶端需安裝 OpenADR VEN(Virtual End Node)來接收 VTN 發送過來的需量反應事件。



資料來源：OpenADR Alliance，本計畫修改

圖 13 OpenADR 標準規格應用架構

本案例為實際模擬由電力公司發出之需量反應事件情境，分別在綜研所公館所區建置 OpenADR VTN，以及在綜研所樹林所區第一試驗大樓建置 OpenADR VEN。自動需量反應事件由公館所區 VTN 發出，經由台電內部網路，送達樹林所區 VEN，以執行卸載事件。

本案例之 OpenADR VTN 是由資策會所開發，完全符合 OpenADR 2.0a VTN PULL/PUSH

標準規格，並已經獲得 OpenADR Alliance 認證。VEN 則是由成功大學楊宏澤教授團隊所開發，完全符合 OpenADR 2.0a VEN PULL 標準規格，同樣也已經獲得 OpenADR Alliance 認證。因此在本實例中也驗證了由不同團隊所研發之 OpenADR 產品可以毫無阻礙的溝通自動需量反應事件訊息，並進行需量卸載。以下將說明本建置案 OpenADR 架構與運作介面：

(一) OpenADR 工程版介面

本建置 VTN 採用資策會研發之 SAVE 系統為 OpenADR 平台，使用者可以於平台上設定 OpenADR Program 的各個屬性，一旦 Program 屬性設定好後，便可以準備發送 OpenADR 事件給用戶端的 VEN。圖 14 是事件(Event)設定介面，事件管理員依據負載調度規畫，預先排定需量反應事件內容，設定包括起始時間、持續時間、卸載等級等資訊。

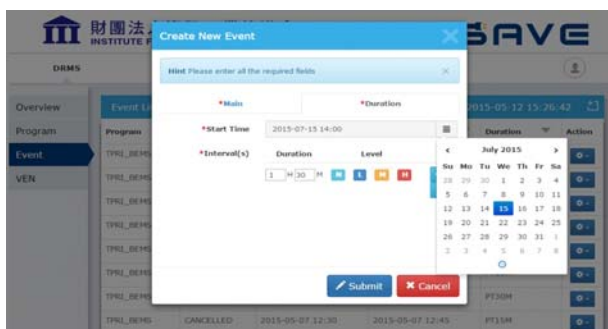


圖 14 自動需量反應事件之卸載等級設定

在事件管理員排定並發出事件給用戶端之後，一直到事件執行時間真正開始前，VTN(公館端)與 VEN(樹林第一試驗大樓端)之間，會持續互相傳輸排定事件之狀態訊息，VTN 會依據時間的演進，依序將事件狀態由「等待中(far)」改成「即將執行(near)」，而在事件時間開始時，再改成「執行中(active)」。最後，在事件執行時間結束時，事件狀態將會改成「完成(Completed)」。

在 VTN 排定事件並發送給 VEN 後，在事件開始執行前，事件管理員可以在需要時透過 VTN 來取消事件，此時事件狀態將改成「即將執行(near)」。如圖 15 所示，介面上會顯示顯示所有事件執行情形及進行管理操作。

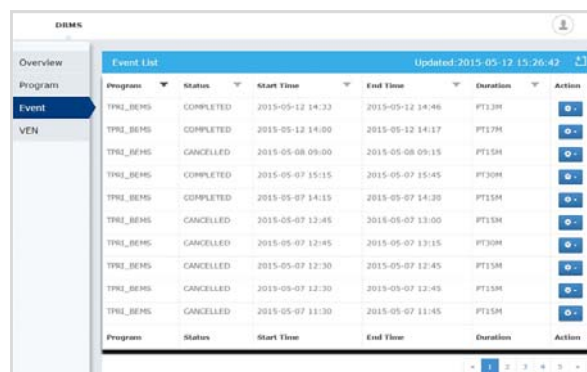


圖 15 VTN 之 VEN 事件狀態顯示介面

(二) 事件管理員操作介面

為了讓事件管理員可以聚焦於事件發送時所需要的設定，因此本建置案亦開發「事件管理員操作介面」，如圖 16 所示。



圖 16 ADR 事件管理員操作介面

「事件管理員操作介面」為當日型 (Day-of)自動需量反應事件發送介面，並且設定為連結到第一試驗大樓之 VEN。事件管理員於介面上設定「起始時間」、「執行時間」及「卸載等級」，即可發送 OpenADR 事件給第一試驗大樓之 VEN。

「起始時間」將是離目前最近的三次

的每刻鐘時間，「執行時間」則可設定為 15 分鐘、30 分鐘、45 分鐘、60 分鐘其中之一。「卸載等級」可為高、中、低其中一種。介面上並會直接計算第一試驗大樓目前高、中、低三種卸載等級之可卸載量(kW)，供事件管理員卸載等級設定之參考。

事件一經發送後，介面左下側會顯示事件即將執行卸載之倒數計時。若遇突發狀況，事件管理者也可以按下「取消事件」按鈕，已取消事件執行。在事件開始進入執行階段後，介面中下側會顯示事件執行卸載倒數計時，如圖 17 所示。



圖 17 ADR 事件執行倒數計時

### (三) 即時資訊看板

本建置案於第一試驗大樓大廳建置了「即時資訊看板(Dashboard)」以即時提供有關第一試驗大樓之重要即時資訊，如圖 18 所示。

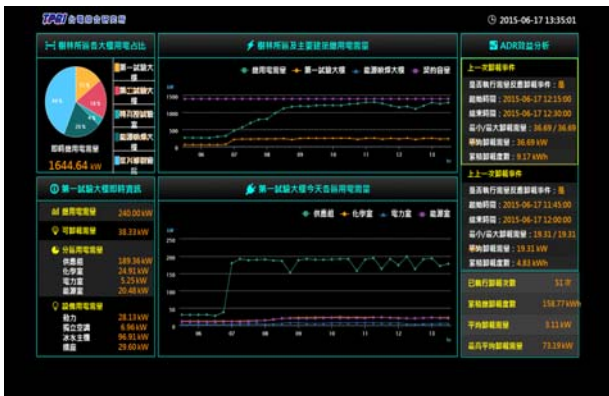


圖 18 第一試驗大樓即時資訊看板

「即時資訊看板」上有五種主要的用電資訊，分別是「樹林所區各大樓用電占比」、「第一試驗大樓即時資訊」、「樹林所區及主要建築用電需量」、「第一試驗大樓今天各區用電需量」、以及「ADR 效益分析」。

1. 「樹林所區各大樓用電占比」中以圓餅圖呈現樹林所區各大樓的用電占比，並且列出即時用電需量之數據，便於使用者了解每一棟主要建築的用電比例。
2. 「第一試驗大樓即時資訊」分別以區域別及設備別列出了四個區域和四類設備的即時用電需量，另外也顯示了總用電需量及可卸載需量兩個重要的資訊。
3. 「樹林所區及主要建築用電需量」中以曲線圖呈現最近八個小時內，第一試驗大樓以及能源噴焊大樓兩棟主要建築的用電需量曲線，以及樹林所區整體總用電曲線，並且也繪出樹林所區簽訂之契約容量供使用者參考。
4. 「第一試驗大樓今天各區用電需量」中以曲線圖呈現最近八個小時內，第一試驗大樓內四個用電責任單位的用電需量曲線，分別是供應組、化學室、電力室、及能源室。各區用電需量曲線可提供各用電責任單位了解各自的用電量，進行自主能源管理。
5. 「ADR 效益分析」中顯示過去兩次卸載事件的效益資訊，包括以每 15 分鐘為計算單位之最大/最小卸載需量、此次事件期間的平均卸載需量、此次事件期間的累積卸載度數等資訊。另外，此區域也提供了自系統建立後之以執行卸載次數、累積總卸載度數、平均卸載需量、及最高平均卸載需量等四個統計資訊。

資訊看板平時顯示即時用電資訊供所有使用者了解用電狀況，而在有 ADR 事件時，則會提供事件執行相關資訊。



當 VEN 收到由 VTN 發送的 ADR 事件後，資訊看板系統將會監看 ADR 事件的狀態，當 ADR 事件狀態進入「即將執行 (near)」時(圖 19)，資訊看板左上側會顯示事件即將執行卸載之倒數計時，並會顯示此次事件之相關資訊，包括事件執行起始時間、卸載事件等級、所需卸載需量、計畫卸載需量等。另外，看板下方中間會輪播各樓層設備在此次事件中，將會被卸載的設備。

依據設備受控能力不同，卸載策略也有異，照明、獨立空調、及飲水機是屬於可能會被卸載(關閉)的設備；而中央空調之冰水主機可能只會被降載。

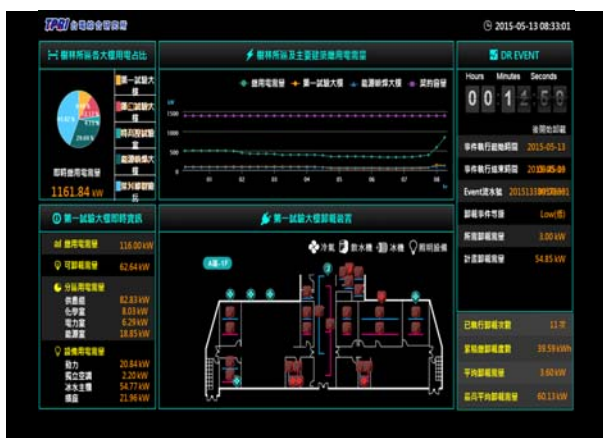


圖 19 「即將執行」階段之資訊看板內容

圖 20 事件開始執行後，看板左上側會顯示「執行卸載事件剩餘時間」倒數計時，並會顯示此次事件之相關資訊，包括所需卸載需量、計畫卸載需量、即時卸載需量、即時最大卸載需量、以及即時最小卸載需量等資訊。其中，卸載需量之計算以每 15 分鐘為單位，以符合台電智慧電表之用電時間區段。若需量反應事件為兩個小時，則會包含八個 15 分鐘區間，資訊看板將會呈現這些 15 區間的最大卸載需量、以及最小卸載需量。



圖 20 「事件執行」階段之資訊看板內容

#### (四) 即時行動用電資訊 APP

為提供能源管理者和所有相關人員可以隨時隨地了解樹林所區各主要大樓用電，及第一試驗大樓各單位與設備用電狀況，本案中也建置了「即時行動用電資訊 APP」。如圖 21 所示，其中包括「樹林所區」及「第一試驗大樓」兩個主要的介面群組。

##### 1. 「樹林所區」介面群組(圖 22)

「樹林所區」介面群組提供整個樹林所區各大樓及所區總用電之資訊，分為「各大樓用電占比」與「主要建築總用電需量」兩個頁面。「各大樓用電占比」頁面上以圓餅圖呈現樹林所區各主要大樓的用電占比，包括，第一試驗大樓、第二試驗大樓、能源噴焊大樓、特高壓實驗室、以及葉片修製廠房等建築物，並且列出即時用電需量之數據，便於使用者了解每一棟主要建築的用電比例。



圖 21 即時行動用電資訊 APP

「主要建築總用電需量」頁面上以曲線圖呈現最近八個小時內，第一試驗大樓以及能源噴焊大樓兩棟主要建築的用電需量曲線，以及樹林所區整體總用電曲線，並且也繪出樹林所區簽訂之契約容量供使用者參考。



圖 22 「樹林所區」APP 介面

## 2. 「第一試驗大樓」介面群組

「第一試驗大樓」介面群組提供第一試驗大樓內，各用電責任區及各項設備之總用電資訊，包括「即時用電資訊」與「各部門用電需量」兩個頁面，另外也提供第一試驗大樓配合執行自動需量反應(ADR)事件之效益資訊，包括「ADR 效益分析」、「ADR 歷史事件」兩個頁面。

如圖 23 顯示，「即時用電資訊」頁面上顯示四類設備的即時用電需量，包括動力、冰水主機、獨立空調、以及插座，另外也顯示第一試驗大樓總用電需量與即時可卸載需量，供能源管理者了解各類設備的用電需求，做為未來節能規劃的參考。

圖 23 右之「各部門用電需量」頁面上以圓餅圖顯示第一試驗大樓四個用電部門之即時用電占比，可提供未來規劃各部門建立用電責任區域及分擔電費之參考。

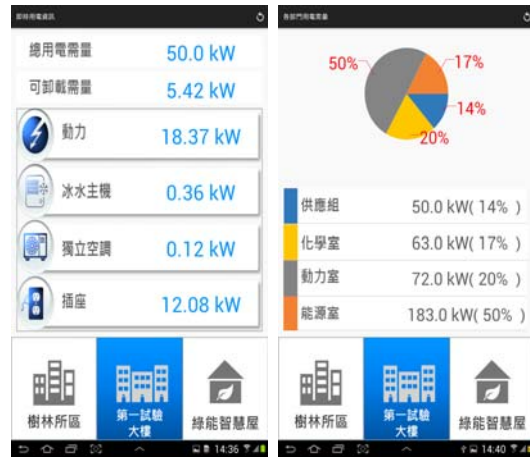


圖 23 「第一試驗大樓」用電資訊介面

如圖 24 顯示，「ADR 效益分析」頁面中顯示過去最近一次卸載事件的效益資訊，包括卸載事件是否有被執行、事件期間、以及以每 15 分鐘為計算單位之最大/最小卸載需量、此次事件期間的平均卸載需量、此次事件期間的累積卸載度數等資訊。



圖 24 第一試驗大樓」ADR 效益分析頁面

另外，「ADR 歷史事件」頁面顯示了自系統建立後之以執行卸載次數、累積總卸載度數、平均卸載需量、及最高平均卸載需量等四個統計資訊。

## 肆、自動需量反應事件試行

為測試系統之穩定性，多次由公館發送自動

需量反應事件到樹林所區第一試驗大樓之 OpenADR VEN 裝置，再將事件解譯後，轉傳給能源管理系統。能源管理系統於收到事件後，根據事件規定之卸載等級，及該等級對應到之卸載設備，進行設備卸載排程。能源管理系統會持續檢視排程的時間，再於事件開始時間對設備進行卸載動作。

圖 25 是能源管理者於 6 月 17 日所執行的三次需量反應事件測試，驗證從事件從 VTN 發出後，經過 VEN、BEMS、一直到 EMS 執行卸載動作的程序。因為目的在進行系統測試，三次事件的時間執行時間長度都圍 15 分鐘。



圖 25 「第一試驗大樓」用電資訊介面

三次事件的參數如下：

### 一、事件一

- (一) 卸載事件起始時間：2015-06-17 11:45:00
- (二) 卸載事件結束時間：2015-06-17 12:00:00
- (三) 卸載事件等級：低

### 二、事件二

- (一) 卸載事件起始時間：2015-06-17 12:15:00
- (二) 卸載事件結束時間：2015-06-17 12:30:00
- (三) 卸載事件等級：低

### 三、事件三

- (一) 卸載事件起始時間：2015-06-17 13:05:00
- (二) 卸載事件結束時間：2015-06-17 13:20:00
- (三) 卸載事件等級：低

因為三次卸載事件皆有設定對冰水主機進行卸載動作，將冰水主機的負載降載至 75%，因此由當日冰水主機的的分時需量曲線可以看到，在事件執行期間，冰水主機負載由 60kW 降至約 40kW。

從 BEMS 介面中的「需量資訊」介面上可以查詢卸載歷史紀錄，因此查詢 6 月 17 日當日的卸載紀錄，可以看到每一次卸載事件，每一個用電部門的事件前後需量(圖 26)。

卸載時間	持續時間 (min)	卸載量/所定量 (kW)	狀態	風扇室 (kW)	化學室 (kW)	電力室 (kW)	其他 (kW)	
2015-06-17 11:15:00	15	31.56 / 18.00	▲	23.0/22.0	72.8/23.4	6.7/7.2	163.6/184.2	
				卸載量	-0.1	0.5	0.5	20.7
2015-06-17 19:30:00	15	32.81 / 18.00	▲	21.5/21.4	22.3/22.8	7.4/7.0	157.5/191.0	
				卸載量	-0.1	-0.9	-0.4	34.3
2015-06-17 08:30:00	15	31.86 / 18.00	▲	20.7/20.1	21.0/20.8	7.7/5.6	152.6/186.0	
				卸載量	-0.6	-0.2	-1.9	33.8
2015-06-16 16:45:00	15	189.63 / 15.00	▲	15.1/17.6	18.1/18.4	4.2/6.0	40.6/137.7	
				卸載量	2.5	0.3	1.7	97.1

圖 26 6 月 17 日三次事件分別的卸載效益紀錄

## 伍、結論與建議

我國已實施各種需求面管理措施多年，並有一定成效。近年來由於資通訊技術發展，國外電業先進國家正逐步推動各種多樣化、創新化之需求面管理服務。本建置案之緣由為台電公司基於節能減碳之理念，率先導入 ADR 於實際工作空間，使得本公司同仁能實地體驗 DR 實施期間用戶端所面對的感受，對於用戶具有宣誓力行之效應，有助於需量反應方案的推動與溝通。

本計畫以樹林所區第一試驗大樓為場域，建置 BEMS 建築能源管理系統，搭配 Open ADR 自動需量反應，經實證可在指定時段抑低指定需量，抑低率在 20% 左右。台電公司約有數千棟建築，如在尖峰時段抑低 20%，平時節電 10%，其累積效益將十分顯著，公司可成為綠色企業中節電亮點。後續將擴大本建置案之推動範圍，以綜

研所樹林所區各建築物為範圍，建立以園區為等級之需求面管理，並導入能源管理聚合商 (Aggregator) 的理念，將樹林所區推動經驗為基礎，累積公司未來自由化/民營化之 ESCO & Aggregator 運作經驗。

### 陸、誌謝

自動需量反應橫跨許多專業領域，必須群策群力才有機會建立國家級自動需量反應制度，本建置案在經濟部技術處，國家型能源計畫智慧電網主軸專案計畫協助下，透過研發技術交流、推廣合作、產業聯盟的支持，逐步將我國自動需量反應體制建立起來，期能成為未來節能減碳亮點應用。

### 柒、參考文獻

- [1] 經濟部能源局，「國際智慧電網發展策略與現況」，2010 年 12 月，能源報導－封面故事。
- [2] 科技部，「第二期國家型能源計畫智慧電網主軸中心」，<http://www.nepii.tw/>。
- [3] OpenADR Alliance, “OpenADR 2.0 Profile Specification A Profile,” July.12.2010.
- [4] OpenADR Alliance, [Onlin]. Available: <http://www.openadr.org>.
- [5] IEC, “IEC PAS 62746-10-1:2014,” Feb.19. 2014, <https://webstore.iec.ch/publication/7570>.

### 台電工程月刊徵稿啟事

- ✿ 為使本刊物之內容更臻完善，歡迎有關火（水）力發電、核能發電、再生能源、輸變電、配電、電力系統、能源與環境、化學與材料、資訊與電腦、工程技術及其他等相關論著、技術經驗及譯者踴躍投稿，以饗讀者。
- ✿ 投稿相關事宜，若有任何疑問，請聯絡我們，謝謝您！

☎ (02)2360-1095 ✉ u117212@taipower.com.tw



# 沸水式核電廠隔離不全管路與 T 型管路熱疲勞 安全評估及管制研究

Safety Assessment and Regulatory Research of Thermal Fatigue in  
BWR Un-isolable Piping and Mixing-tee

李昭仁\*  
Li, Chao-Jen

鄭憶湘\*  
Cheng, Yi-Hsiang

李元志\*  
Li, Yuan-Chih

黃培勳\*  
Huang, Pei-Hsun

謝楊正\*\*  
Hsieh, Yang-Cheng

張漢洲\*\*  
Chang, Han-Jou

(101~104 年度研究計畫論文)

## 摘要

近年來因管路隔離不全與冷熱流體混合造成管路熱疲勞龜裂事件，已衝擊核能電廠運轉的安全。EPRI 於 2006 年 6 月提出一針對 BWR 核電廠其管路隔離不全的熱疲勞評估之導則(BWRVIP-155)。另，EPRI 於 2008 年 9 月提出一針對 BWR 核電廠其 T 型管路(Mixing-Tee)的熱疲勞評估之導則(BWRVIP-196)。美國 NRC 綜整延役審照結論，發現在未來 40-60 延役期間，電廠因為管路熱疲勞而龜裂造成洩露的機率非常高，因此全面調查核一廠、核二廠和龍門廠其潛在發生隔離不全管路與 T 型管路，可能受熱疲勞問題影響之管路實有必要。本計畫完成之目標包括：研究 BWR 核電廠受熱疲勞問題影響管路之篩選/評估準則；調查核一廠、核二廠和龍門廠潛在發生隔離不全管路，可能受熱疲勞問題影響之管路；及發展 BWR 電廠 T 型管冷熱混和熱應力分析及評估模式，並依據準則與核一廠、核二廠和龍門廠的現行措施，提出相關管路的檢測建議。

## Abstract

It has recently been determined that certain normally stagnant branch lines in nuclear power plant may be susceptible to thermal fatigue. The question has been raised about whether analogous phenomena could result in thermal fatigue in PWR and BWR plants. In the past, Taipower has issued a number of technical information about the impacts of important events on thermal fatigue cracking. Thermal fatigue is one of the issues usually not considered at the beginning of the design of the nuclear power plant. Basically, thermal fatigue analysis is a evaluation processes which involves thermal analysis and elastic-plastic stress analysis. The guidelines, BWRVIP-155 and BWRVIP-196, present screening, evaluation and inspection recommendations for assessing potential thermal fatigue cracking that may occur in normally stagnant non-isolable piping and mixing-tee of BWR NPP. Therefore, it is necessary to survey the un-isolable piping and mixing tee affected by thermal fatigue in BWR NPP. The objective

\*工業技術研究院材料與化工研究所

\*\*台灣電力公司核能安全處



of those guidelines is to provide a common industry approach for use in effectively reducing the probability of cracking in and leakage from piping potentially susceptible to thermal fatigue.

**關鍵詞(Key Words)：**熱疲勞 (Thermal Fatigue)、隔離不全(Non-isolable)、T 型管(Mixing-tee)、沸水式核電廠(BWR)。

## 壹、前言

自 1980 年以來，國外有超過 14 起因管路隔離不全(Un-isolable)造成管路熱疲勞龜裂，例如美國的水晶河(Crystal River)、法利-2(Farley-2)、三哩島-1(TMI-1)、奧科尼-1&2(Oconee-1&2)電廠、日本的玄海(Genkai)、敦賀(Tsuruga)、美濱電廠(Mihama)、法國的西佛電廠(Civaux)、比利時的梯漢(Tihange)電廠，導致壓水式核電廠(PWR)一次側冷卻水洩漏事件發生，嚴重衝擊核能電廠運轉的安全，也引發美國核能管制委員會(NRC)嚴正要求核電廠對一次側冷卻水管路必需要完整的熱疲勞龜裂檢測及維護管理機制，以確保反應爐冷卻水壓力邊界之結構完整性，除了列為核電廠繼續運轉的執照管制議題，同時也是機組延役申照之管制必要項目。

另，法國西佛(Civaux, 1450MWe)、秋氏(Chooz, 1450MWe)、諾讓(Nogent, 1450MWe)、特里卡斯亭(Tricastin, 900MWe)，日本敦賀(Tsuruga, 1160MWe)等電廠都曾發現 RHR 系統管路破裂，主要破裂的原因是在 T 型管接頭處冷熱水不當混合所造成。為應付此狀況，法國對所有 PWR 機組展開「檢查 RHR 系統或更換受影響的管路」活動，並進行相關的熱流和機械分析與模型測試。

上述有關發生在 PWR 電廠中的隔離不全管路與 T 型管路事故案例，其發生肇因的物理機制，也有可能發生在 BWR 電廠。故，EPRI 於 2006 年 6 月提出一針對 BWR 電廠其管路隔離不全的熱疲勞評估之導則(BWRVIP-155<sup>[1]</sup>)，針對

BWR-3、BWR-4(核一廠屬此類)、BWR-6(核二廠屬此類)等反應器系統進行隔離不全管路的篩選評估，並指出部分平時滯水管線可能有此熱疲勞問題。

EPRI 於 2008 年 9 月提出一針對 BWR 電廠其 T 型管路的熱疲勞評估之導則(BWRVIP-196<sup>[2]</sup>)，針對 BWR-2、BWR-3、BWR-4(核一廠屬此類)、BWR-5、BWR-6(核二廠屬此類)等反應器系統進行 T 型管路的篩選評估，並指出在 BWR 電廠 heat-up 時，從 RWCU 回到 Feedwater 之 T 型管處，有冷熱混合的現象，這是潛在發生熱疲勞之處。

NRC Information Notice 92-50 的發佈提示了 BWR 電廠，美國的 Nine Mile Point 電廠(屬 BWR-2 反應器系統)因為緊急冷凝系統的冷凝回管(Emergency Condenser System Condensate Return Line)上的球閥發生洩漏，冷水內滲到再循環水系統(Reactor Recirculation System)，再循環水系統上的洩水管路發生了穿壁式龜裂而後管路洩漏，經過洩漏偵測後確認洩漏流量約為 0.5gpm (1.9 l/m)。

美國 NRC 綜整延役審照結論，發現在未來 40-60 延役期間，具有隔離不全的支管和 T 型管路龜裂造成洩露機率非常高，電廠追求延役換照必須針對升高之洩露機率提出適當老化管理方案。為要大幅降低反應爐冷卻水管路龜裂洩露機率，提升電廠風險及可靠度評估之需求，因此，將隔離不全管路與 T 型管路熱疲勞安全評估及管理體系，應用於核電廠組件結構完整性評估，近年來已普遍獲得管制單位的重視。

過去台電也曾發佈多份技訊，請各廠參考並

加以重視熱疲勞龜裂事件；因此全面調查核一廠、核二廠、龍門廠潛在發生隔離不全管路與 T 型管路，全面調查可能受熱疲勞問題影響之管路，實有其必要性。

為要大幅降低反應爐冷卻水管路龜裂洩露機率，提升電廠風險及可靠度評估之需求，因此，將可能發生隔離不全的管路和冷熱混合 T 型管路執行熱疲勞安全評估並對其實施及管理體系，並將結果應用於核電廠組件結構完整性評估中，近年來已普遍獲得管制單位的重視。目前我國並無相關評估技術與管理經驗，極待建立相關能力。

台電公司於 101 年 12 月委託工研院開始進行「沸水式核電廠隔離不全管路與 T 型管路熱疲勞安全評估及管制研究」計畫，已於 104 年 11 月完成篩選/評估核一廠、核二廠與龍門廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路、發展碳鋼 T 型管冷熱混和熱應力分析及評估模式、管理核一廠、核二廠與龍門廠的隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路等分項工作，以提供核一廠、核二廠與龍門廠相關管路的合適建議。

本研究目的如下：

- 一、完成核一廠、核二廠與龍門廠的隔離不全管路之篩選/評估。
- 二、完成核一廠、核二廠與龍門廠的冷熱混合 T 型管路之篩選/評估。
- 三、建立冷熱混合碳鋼 T 型管路的分析技術。
- 四、比對/驗證核一廠、核二廠與龍門廠隔離不全管路和冷熱混合 T 型管路的檢測範圍與週期。

## 貳、研究方法

為達到上列目標，本研究計畫之研究步驟包括：沸水式核電廠隔離不全管路熱疲勞與冷熱混合 T 型管路的檢測準則與監測準則之分析、建立沸水式核電廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路之篩選/評估流程、篩選/評估核一廠、核二廠與

龍門廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路、建立冷熱混合碳鋼 T 型管路的量測與模擬等步驟。

### 一、沸水式核電廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路的檢測準則與監測準則之分析

主要根據美國 EPRI 的 BWRVIP 所發展的準則(隔離不全管路是根據 BWRVIP-155 與冷熱混合 T 型管路是根據 BWRVIP-196)作為主要依據，而 BWRVIP-155 所採用的方法主要都根據 MRP-146<sup>[3]</sup>，BWRVIP-196 所採用的方法主要都根據 MRP-192<sup>[4]</sup>，監測準則是根據美國 EPRI 的 MRP 計畫所發展的 MRP-32<sup>[5]</sup>。並與核一廠、核二廠與龍門廠的作法進行比對驗證。

### 二、建立沸水式核電廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路之篩選/評估流程

主要是建立沸水式核電廠其隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路的篩選評估流程，以利進行後續之相關管路其篩選/評估工作。

### 三、篩選/評估核一廠、核二廠與龍門廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路

利用已建立的沸水式核電廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路的篩選評估流程，來針對核一廠、核二廠與龍門廠的隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路進行篩選/評估，藉此了解核一廠、核二廠與龍門廠有哪些管路可能因隔離不全或冷熱混合而有熱疲勞的疑慮，以期能事先預防。

### 四、建立冷熱混合碳鋼 T 型管路的量測與模擬

碳鋼 T 型管路的冷熱流體混合所造成的熱疲勞機制與管路因隔離不全所造成的熱疲勞機制不同，因此，於核二廠 1 號機 RHR B 串熱交換器出口處之 T 型管路建置熱疲勞監測設備，並進行「冷熱混合碳鋼 T 型管路熱疲勞監測設備建置」的量測結果之分析，另採用 BWRVIP-196 所發展的理論模式，分析核二廠可能因流體冷熱混合造成熱疲勞疑慮的碳鋼 T 型管路，評估其疲勞程度。

### 參、沸水式核電廠隔離不全管路熱疲勞與冷熱混合 T 型管路的檢測準則與監測準則之分析

美國 EPRI 的 BWRVIP 計畫所發展的 BWRVIP-155 是針對沸水式核電廠的隔離不全管路提供其篩選/評估的流程，所採用的方法主要都根據 MRP-146，MRP-146 並針對隔離不全管路的檢測位置提出其建議，則可與核一廠與核二廠現行的做法進行比對。

美國 EPRI 的 BWRVIP 計畫所發展的 BWRVIP-196 是針對沸水式核電廠的冷熱混合 T 型管路提供其篩選/評估流程，所採用的方法主要都根據 MRP-192，MRP-192 並針對冷熱混合 T 型管路的檢測位置提出其建議，則可與核一廠與核二廠現行的做法進行比對。

美國 EPRI 的 MRP 計畫所發展的 MRP-32 針對壓水式核電廠的隔離不全管路提供其監測的準則，並可與核三廠現行的做法進行比對。

以下將分別敘述 BWRVIP-155、BWRVIP-196、MRP-32 的相關內容。

#### 一、BWRVIP-155

BWRVIP-155(主要參考 MRP-146)提供一般性的工業導則，用以評估聯接主管的支管其隔離閥是否因隔離不全而發生熱疲勞破裂的潛在性。若電廠原本就有執行 ASME Code, Section XI 電廠營運中檢測方案 (Inservice Inspection Programs)，透過本導則對管路系統之篩選與評估，則可能有更多不包含在 ASME Code, Section XI 的管路位置會被篩選出來需要執行檢測工作；若是電廠已經有執行風險告知營運期間檢測方案 (Risk-Informed Inservice Inspection Programs)，則可以確保管路上的焊接點已經列入檢測範圍。使用本導引將可以協助給電廠避免因熱疲勞效應而造成管路破裂的問題，因而需要電廠停機即時大修，同時本導則所包含的建議事項，亦可應用於電廠之風險告知營運期間檢測方

案中。

MRP-146 的 UH/H 型式之支管的評估流程如圖 1 所示。DH 型式之支管的評估流程如圖 2 所示。

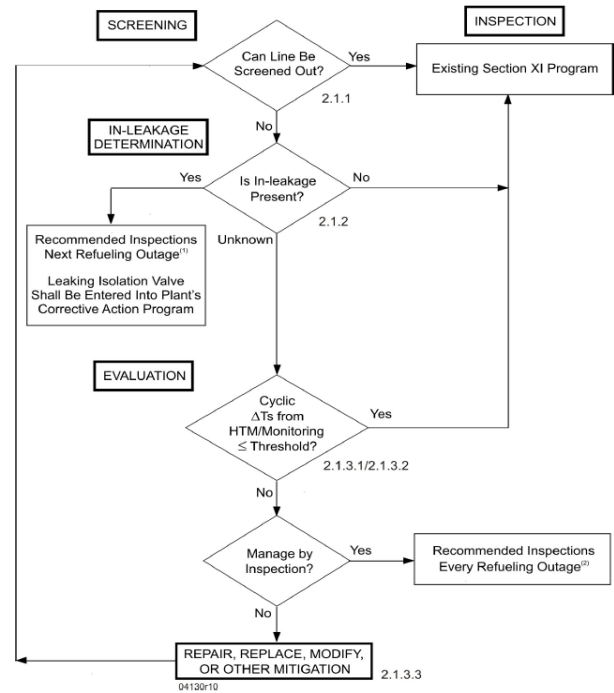


圖 1 UH/H 支管評估流程(MRP-146)

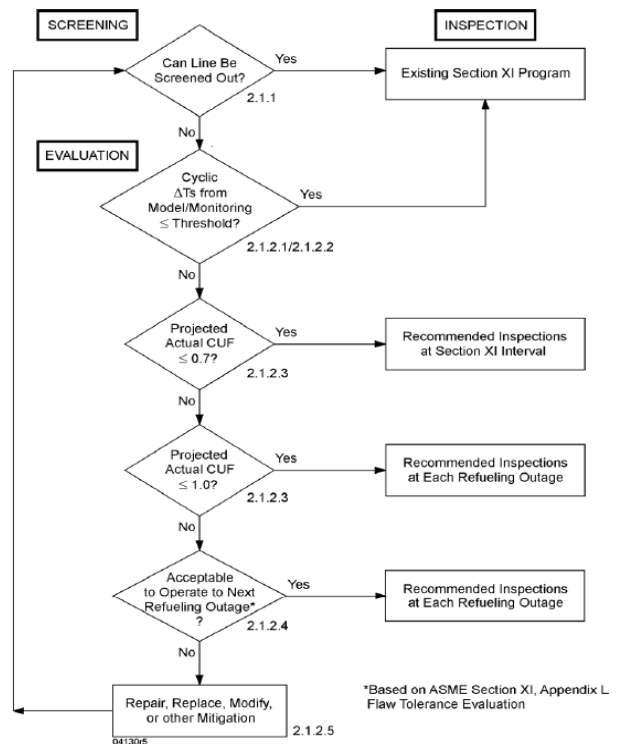


圖 2 DH 支管評估流程(MRP-146)

MRP-146 將 UH 支管的對縫焊接點的檢測區域如圖 3 所示。主要內容為：對縫焊接(Butt Welded)的肘管至第一個閥門間的水平管段，並包含在第一個閥門前的焊道，以 UT 或 RT 對下圖中斜線的部位進行檢測。檢測範圍需要包含肘管焊接處的母材，該檢測需要檢視管路內表面以發現是否有環向、軸向、斜向的裂紋。水平段管路底部的檢查範圍為 1/2 英吋的寬度，1/3 的管壁厚度。水平段管路的檢測長度要在 5Di 之內(但不要超過閥)，若有發現 cracking，則檢查長度要延長到 20Di，但不要超過閥。

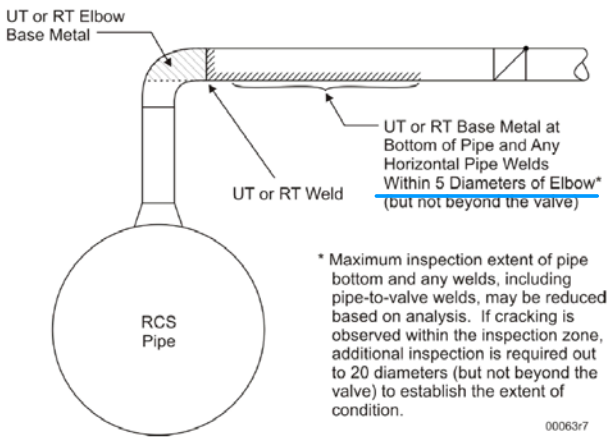


圖 3 UH 支管的對縫焊接的檢測區域(MRP-146)

MRP-146 將 UH 支管的套焊焊接點的檢測區域如圖 4 所示。主要內容為：套焊焊接(Socket Welded)的肘管至第一個閥門間的水平管段，並包含在第一個閥門前的焊道，以 UT 或 RT 對下圖中斜線的部位進行檢測。至少檢測套焊凸趾處母材上 1/3 的內壁厚度、1 英吋的寬度，在焊道位置以下的管路不需要執行檢測。水平段管路底部的檢查範圍為 1/2 英吋的寬度，1/3 的管壁厚度。水平段管路的檢測長度要在 5Di 之內(但不要超過閥)，若有發現 cracking，則檢查長度要延長到 20Di，但不要超過閥。

MRP-146 將 H 支管的對縫焊接點的檢測區域如圖 5 所示。主要內容為：對縫焊接(Butt Welded)的肘管至第一個閥門間的水平管段，並包含在第一個閥門前的焊道，以 UT 或 RT 對下圖中斜線的部位進行檢測。至少檢測套焊凸趾處母

含在第一個閥門前的焊道，以 UT 或 RT 對下圖中斜線的部位進行檢測。需要對管路母材以 UT 或是 RT 方法進行全體積檢測，包含在焊道處檢測管路母材上底部 1/2 英吋的寬度區域。水平段管路底部的檢查範圍為 1/2 英吋的寬度，1/3 的管壁厚度。水平段管路的檢測長度要在 5Di 之內(但不要超過閥)，若有發現 cracking，則檢查長度要延長到 20Di，但不要超過閥。

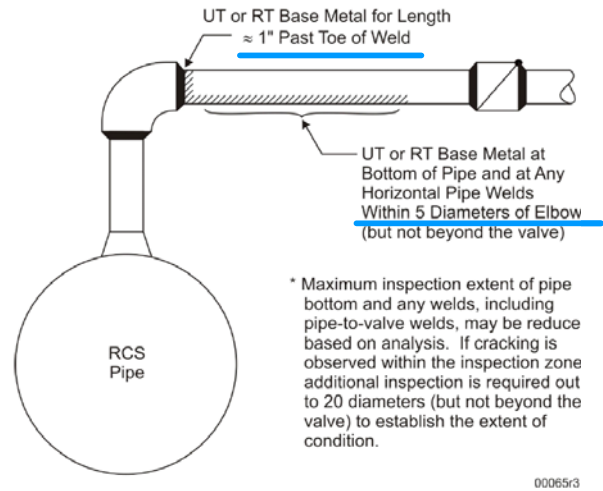


圖 4 UH 支管的套焊焊接點的檢測區域(MRP-146)

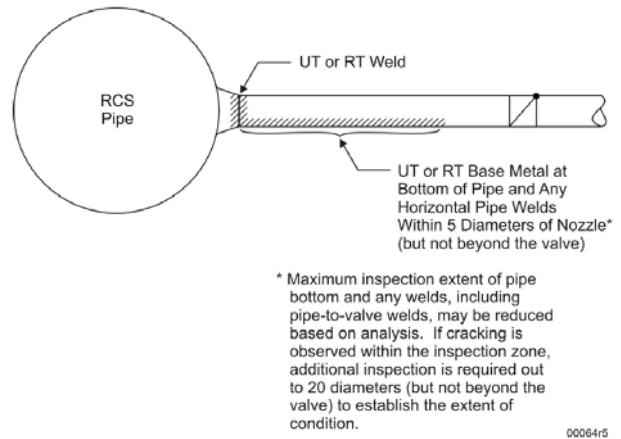


圖 5 H 支管的對縫焊接的檢測區域(MRP-146)

MRP-146 將 UH 支管的套焊焊接點的檢測區域如圖 6 所示。主要內容為：套焊焊接(Socket Welded)的肘管至第一個閥門間的水平管段，並包含在第一個閥門前的焊道，以 UT 或 RT 對下圖中斜線的部位進行檢測。至少檢測套焊凸趾處母

材上 1/3 的內壁厚度、1 英吋的寬度，在焊道位置以下的管路不需要執行檢測。水平段管路底部的檢查範圍為 1/2 英吋的寬度，1/3 的管壁厚度。水平段管路的檢測長度要在 5Di 之內(但不要超過閥)，若有發現 cracking，則檢查長度要延長到 20Di，但不要超過閥。

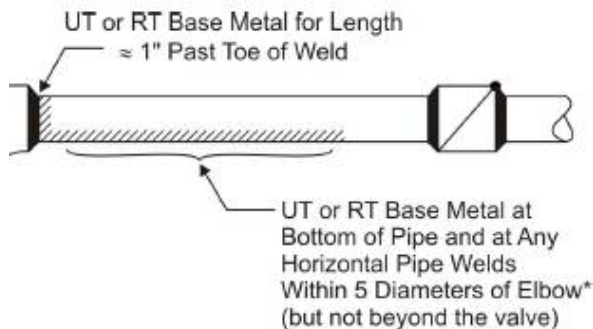


圖 6 H 支管的套焊焊接點的檢測區域(MRP-146)

MRP-146 將 DH 支管的對縫焊接點的檢測區域如圖 7 所示。主要內容為：對縫焊接的肘管與水平管段的焊接點，需要以 UT 或是 RT 方法對焊接處進行全體積檢測，預期裂縫或裂紋發生的方向是在環向方向上，檢測的區域需包含在水平管段水平高度之下的肘管母材，用以檢測管路內表面其軸向、環向、或是斜向的裂縫或是裂紋。

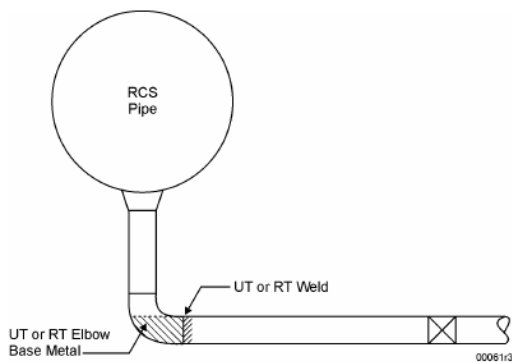


圖 7 DH 支管的對縫焊接的檢測區域(MRP-146)

MRP-146 將 DH 支管的套縫焊接點的檢測區域如圖 8 所示。主要內容為：套焊焊接的肘管與水平管段的焊接點、以及水平管段與第一個閥門

的套焊焊接點，在這些焊接點上需要使用 UT 或是 RT 方法進行全體積檢測，至少檢測套焊與管路接點處母材上 1/3 的管壁厚度、1 英吋的寬度。

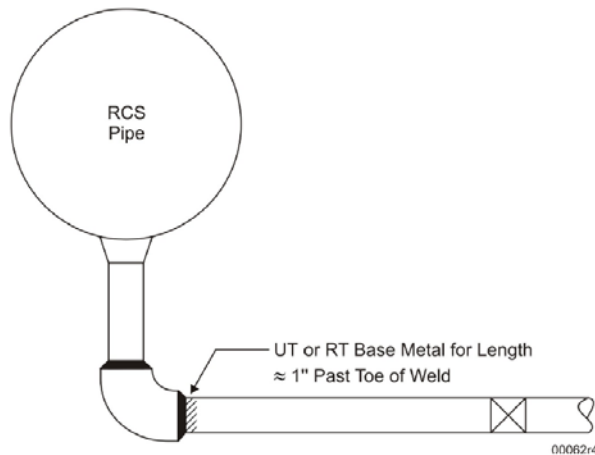


圖 8 DH 支管的套焊焊接點的檢測區域(MRP-146)

## 二、BWRVIP-196

BWRVIP-196(主要參考 MRP-192)對於經評估認為需要進行檢測的管路，則管路的檢測工作依據 MRP-192 的說明，檢測人員需要經過 EPRI-Developed Thermal Fatigue Detection Technology 的訓練，且檢測位置至少需要涵蓋 T 型管下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。若為對縫焊接(Butt-welded)，在這些焊接點上需要使用 UT 或是 RT 方法進行全體積檢測，如圖 9 所示，檢測範圍需要包含肘管焊接處的母材，該檢測需要檢視管路內表面以發現是否有環向、軸向、斜向的裂紋。

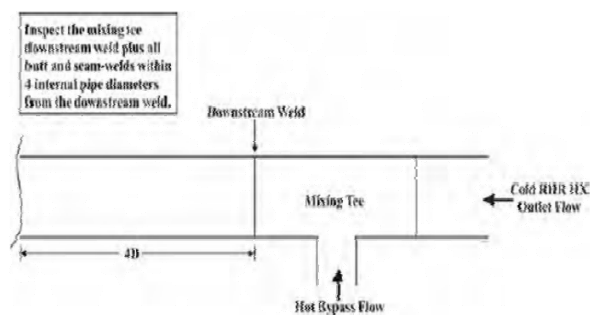


圖 9 冷熱混合 T 型管路的檢測區域(MRP-192)



### 三、MRP-32

沸水式核電廠隔離不全管路熱疲勞與冷熱混合 T 型管路的監測準則可參考美國 EPRI 的 MRP 計畫所發展的 MRP-32 此份導則。此份導則乃針對銜接於主迴路管路系統上的冷卻水滯留管路(UH、H、DH、HUH、HDH)，另亦包含冷熱混合 T 型管路。為偵測是否有循環性的熱分層存在，或是為了獲得對循環熱分層發生的管線進行詳細結構評估所需要的資料，本導則界定了熱疲勞監測過程並對監測過程的每個步驟提供指引，電廠的工程師才能實行有效的熱疲勞監測計畫。為了偵測循環熱分層，建議使用外置熱電耦來做為一般偵測方法，這是因為體認到溫度資料經過管壁厚度後會降低數據，因此測量資料可能需要經過調整，才能確實反應說明整個管子的溫度。此份導則也討論其他的溫度感應器方法及感應器類型，探討應用它們來解決問題的可能性。

本導則亦提供溫度感應器擺放的位置，其中考慮到各種壓水式電廠管路配置情形，溫度感應器擺放位置被分為兩個類別：(1)感應器擺放位置用以偵測是否有循環熱分層；以及(2)感應器擺放位置用以評估循環狀態下的應力和疲勞狀況。

### 肆、建立沸水式核電廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路之篩選/評估流程

沸水式核電廠隔離不全管路的篩選/評估是根據美國 EPRI 的 BWRVIP 計畫所發展的 BWRVIP-155，此份指導方針所採用的方法主要都根據 MRP-146，MRP-146 並針對隔離不全管路的檢測位置提出其建議。BWRVIP-155 此份指導方針內容又直接連結到諸多本 MRP 報告，分別引用了 MRP-25<sup>[6]</sup>，132<sup>[7]</sup>，146，170<sup>[8]</sup>等報告，亦即 EPRI 對 PWR 電廠之隔離不全管路所建立的熱疲勞篩選與評估導則，亦適用於 BWR 電廠會發生相同物理問題之管路上。

沸水式核電廠冷熱混合 T 型管路的篩選/評

估流程是根據美國 EPRI 的 BWRVIP 計畫所發展的 BWRVIP-196，此份指導方針所採用的方法主要都根據 MRP-192，MRP-192 並針對冷熱混合 T 型管路的檢測位置提出其建議，則可與核一廠與核二廠現行的做法進行比對。

#### 一、沸水式核電廠隔離不全管路篩選/評估流程

BWRVIP-155 是針對沸水式核電廠的隔離不全管路提供其篩選/評估的流程，所採用的方法主要都根據 MRP-146，MRP-146 對於 UH/H 型式支管的評估流程如圖 1。因為 EPRI 尚未發展出 UH/H 型式的 CUF 評估模式，故沒有 CUF 的評估判斷準則。

MRP-146 對於 DH 型式之支管的評估流程如圖 2，其中，有兩個步驟最為繁瑣，1. 圖 2 中的” Thermal Fatigue Significant per Supplemental Guidance?”，此分析準則主要根據 MRP-146S<sup>[9]</sup>；2. 圖 2 中的” Schedule by Analysis”，此步驟是對於可能發生熱疲勞嚴重疑慮的 DH 管，若不針對被篩選進來的 DH 管進行完整的分析(因為此完整分析相當繁瑣，也就是圖 2 中的步驟(Schedule by Analysis)，則須每次大修進行檢查。另外，若有進行此步驟(Schedule by Analysis)，當  $CUF \leq 0.7$  時，則建議每 10 年檢查，當  $0.7 < CUF \leq 1$  時，則建議每 2 次大修檢查。

在進行隔離不全管路篩選之前，須利用 MRP-170 進行預篩選(Prescreening)，預篩選階段藉由管路之訊息立即篩選掉不需要進入篩選評估階段之管路，對於 UH 管路有四個條件，每個條件之答案為”是”或”否”，當四個條件的答案有任一個為”是”，則該管路不會進入接續的步驟，而被 Prescreening Out，當每個問題答案皆為”否”，該管路才會進入篩選評估步驟之第二階段，UH 管路的四個預篩選條件列於表 1。

表 1 列出 H 管的預篩選之四個條件，雖然，H 管並無將”管路直徑  $\leq 1$  吋”當作 Prescreening 篩選法則，但當 H 管的直徑  $\leq 1$  吋時，在執行 MRP-170，則會出現” Branch line nominal

diameter must be > 1 to 16 inches” 的訊息，故可將“管路直徑 ≤ 1 吋”當做 H 管的預篩選法則。

DH 管的預篩選準則為：MRP-170 並無預篩選法則，但因為執行 MRP-170 程式時，管路直徑 ≤ 1 吋時，程式會出現 Error，所以，“管路直徑 ≤ 1 吋”可當作 Prescreening 篩選法則。

表 1 UH/H/DH 管路預篩選階段之條件

UH 管	
一	在有洩漏的管路上是否具有壓力調控使之壓力小於主冷卻水迴路之壓力?
二	管線上有兩個或更多經常性關閉之閥門(Normally Closed Valve)
三	對於 UH/H 類型的支管上沒有閥門洩漏的情形
四	管路直徑小於等於 2 吋
H 管	
一	在有洩漏的管路上是否具有壓力調控使之壓力小於主冷卻水迴路之壓力?
二	管線上有兩個或更多經常性關閉之閥門(Normally Closed Valve)
三	對於 UH/H 類型的支管上沒有閥門洩漏的情形
四	管路直徑小於等於 1 吋
DH 管	
一	管路直徑小於等於 1 吋

因此為了判定上述之條件是否確立，則需要對系統操作程序進行確認，並且查閱或是實際了解管路系統的幾何狀態，並蒐集該些管段的運轉經驗或檢測紀錄。

管路篩選工作主要透過 MRP-170 所編寫的程式且依循如圖 10 所示之流程予以進行，依據 MRP-170 程式操作的流程，及配合 MRP-132 理論模式的理解，我們將篩選評估隔離不全管路熱疲勞問題步驟分為五大階段，其中第一、第二階段為篩選階段，篩選法則乃是要去判斷支管上會不會有機會發生熱循環，第三至第五階段屬於評估階段，用以計算支管上發生熱循環週期之位置、熱循環之頻率、以及應力計算。

如前所述，篩選評估隔離不全管路熱疲勞問題步驟分為五大階段。第一階段乃依據支管管徑、有無洩漏可能、有無壓力控制等條件作預篩選，經過預篩選被剔除之管路不會進入第二階段，經過預篩選被篩選進入之管路進入第二階段；第二階段更依據主冷卻水迴路管路及支管管路幾何以及流體狀態進行篩選，篩選之法則乃是

判斷支管上會不會有機會發生熱循環，沒有機會發生熱循環之管路即直接予以剔除 (Screen Out)，不需要進入接下來的評估階段，有機會發生熱循環現象之管路則篩選進入 (Screen In)，需要進入後續的評估階段；步驟之第三階段乃計算支管上發生熱循環週期之位置、以及熱分層流體溫度、流體熱傳係數，若計算所得發生熱循環週期之位置在支管之垂直段或肘管段，則該管路段被認為不受熱疲勞效應之影響，若計算所得發生熱循環週期之位置在水平段，則該管路段被認為會受熱疲勞效應之影響，需要進入步驟的第四階段；步驟之第四階段乃是進行時變熱負載計算 (Transient Thermal Load)，亦即計算熱循環之頻率；步驟第五階段為應力計算。

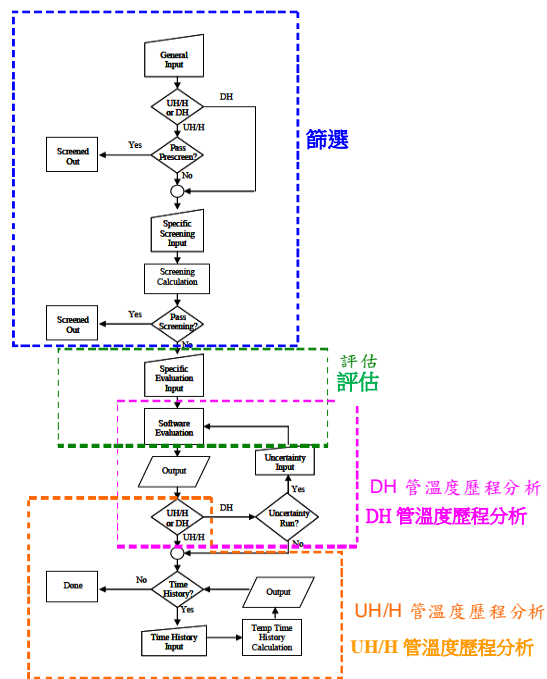


圖 10 使用 MRP-170 對 RCS 支管進行篩選工作流程

## 二、沸水式核電廠冷熱混合 T 型管篩選/評估流程

BWRVIP-196 是針對沸水式核電廠的冷熱混合 T 型管路提供其篩選/評估的流程，所採用的方法主要都根據 MRP-192。依據 MRP-192 的導則，T 型管路熱疲勞程度的篩選準則乃是依據管路上的溫度差。主要篩選準則有三點：

- (一) 對於不銹鋼管路，若是管路上溫度差小於 144°F (80°C)，則將該管路排除其熱疲勞問題的疑慮(亦即被 Screen Out)。
- (二) 對於碳鋼管路，若管路上溫度差小於 90°F (50°C)，同樣地可以排除其熱疲勞問題的疑慮(亦即被 Screen Out)。
- (三) 對於沒有因為溫度差條件被 Screen Out 的管路段，則需要進一步進入評估工作，EPRI 表示評估的方法雖然還沒有明確地規範出來，但基本上是可以透過(1)溫度歷程分析 (Temperature Duration Method)，以及(2)CUF 評估，來評估出該管路可使用的壽命，以及獲得檢測、監測、更換修理管路的建議。

但在 BWR 核電廠中有關冷熱混合 T 型管路的材質大都為碳鋼材質，若為碳鋼材料，疲勞紋成長公式使用式(1)計算之：

$$N_{eff} = \sum N_{\Delta T_i} \times (\Delta T_i / 220)^{5.95} \quad (1)$$

其中

$N_{eff}$ =進出口溫度差在 220°F (104°C)的等效運轉時間

$N_{\Delta T_i}$ =進出口溫度差在  $\Delta T_i$  的實際運轉時間( $\Delta T_i$  需大於 90°F =50°C 才予以計算)

$\Delta T_i$ =熱交換器進口與出口溫度差，°F

## 伍、篩選/評估核一廠、核二廠與龍門廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路

### 一、核一廠隔離不全管路篩選/評估結果

核一廠每個機組各有 17 根屬於本計畫隔離不全管路的範圍，表 2 為根據 BWRVIP-155 的篩選評估結果並與核一廠的第四個十年大修營運期間檢測計畫進行比較之結果，則可得出因為熱疲勞因素造成的檢測週期/範圍之建議。

表 2 核一廠一號機隔離不全管路篩選/評估結果

支管名稱	管路編號	冷/熱端	管路歸納	篩選判斷(Screen In/Out)				Reason	BWRVIP-155 檢測建議	核一廠 檢測現況
				幾何因素	洩漏流量因素 (Based on EOC18 conditions)	溫度門檻 (Based on EOC18 conditions)	整體因素考量			
爐水淨化管路	04-CUW-23/23S	REC loop A	DH	—	—	—	Out	閥 F100 & 閥 F102 為 normally opened	Existing Section XI Program	有(因 IGSCC、CODE 納入檢測)
爐水淨化管路	04-CUW-24/24S	REC loop B	DH	—	—	—	Out	閥 F106 & 閥 F102 為 normally opened	Existing Section XI Program	有(因 IGSCC 納入檢測)
餘熱移除管路	20-RHR-60/60S	REC loop B	H	—	—	—	Out	two normally closed valves(F009&F008) in the leakage path	Existing Section XI Program	有(因 IGSCC、CODE 納入檢測)
餘熱移除管路	22-RHR-7A/7AS	REC loop A	H	In	—	In	In	發生於水平段	(註 1)	有(因 IGSCC 納入檢測)
餘熱移除管路	22-RHR-7B/7BS	REC loop B	H	In	—	In	In	發生於水平段	(註 1)	有(因 IGSCC 納入檢測)
爐水淨化管路	4-CUW-10/10S	FDW loop A	UH	—	—	—	Out	長期性操作持續充滿流體(該管路上持續有 CUW 水回流)	Existing Section XI Program	有(因 CODE 納入檢測)
爐心隔離冷卻管路	4-RCIC-4/4S	FDW loop A	U	Out	—	—	Out	閥 F013 位在垂直段	Existing Section XI Program	有(因 CODE 納入檢測)
飼水管路	3/4-FDW-17A/17AS	FDW loop A	U	—	—	—	Out	≤2 吋	無須檢測	無
飼水管路	3/4-FDW-18A/18AS	FDW loop A	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	3/4-FDW-19A/19AS	FDW loop A	H	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	10-FDW-5A/5AS	FDW loop A	H	—	—	—	Out	two normally closed valves(V-102-307A& V-102-208A) in the leakage path	無須檢測	無
高壓注水管路	14-HPCI-4/4S	FDW loop B	U	Out	—	—	Out	閥 MO-F006 位在垂直段	Existing Section XI Program	有(因 CODE 納入檢測)
飼水管路	3/4-FDW-17B/17BS	FDW loop B	U	—	—	—	Out	≤2 吋	無須檢測	無
飼水管路	3/4-FDW-18B/18BS	FDW loop B	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	3/4-FDW-19B/19BS	FDW loop B	H	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	10-FDW-5B/5BS	FDW loop B	H	—	—	—	Out	two normally closed valves(V-102-307B& V-102-208B) in the leakage path	無須檢測	無
飼水管路	14-FDW-10/10S	FDW loop A FDW loop B	DH	In	—	In	In	發生於第二階水平段	(註 2)	無

註 1：若能確認閥沒有洩漏或閥的洩漏流量不會造成熱循環的現象，則檢測建議為” Existing Section XI Program”；若能確認閥有洩漏或閥的洩漏量會造成熱循環現象，根據 BWRVIP-155 的檢測建議為”每次大修進行檢查”，此非強制性規定。

註 2：根據 BWRVIP-155 的檢測建議為”每次大修進行檢查”，此非強制性規定。

17 根(每個機組)隔離不全管路經篩選/評估流程後的檢測建議如下所述：

- (一) 8 根 (3/4-FDW-17A/17AS、3/4-FDW-18A/18AS、3/4-FDW-19A/19AS、10-FDW-5A/5AS、3/4-FDW-17B/17BS、3/4-FDW-18B/18BS、3/4-FDW-19B/19BS、10-FDW-5B/5BS)為”無須檢測”。
- (二) 有 6 根(04-CUW-23/23S、04-CUW-24/24S、20-RHR-60/60S、4-CUW-10/10S、4-RCIC-4/4S、14-HPCI-4/4S)的檢測建議為” Existing Section XI Program”。
- (三) 有 2 根 H 管(22-RHR-7A/7AS、22-RHR-7B/7BS)的檢測建議為若能確認閥沒有洩漏或閥的洩漏流量不會造成熱循環的現象，則檢測建議為” Existing Section XI

Program”；若能確認閥有洩漏或閥的洩漏量會造成熱循環現象，根據 BWRVIP-155 的檢測建議為”每次大修進行檢查”，此非強制性規定。

- (四) 有 1 根 DH 管(14-FDW-10/10S)根據 BWRVIP-155 的檢測建議為”每次大修進行檢查”，此非強制性規定。

## 二、核二廠隔離不全管路篩選/評估結果

核二廠每個機組各有 39 根(2 根 UH 管、16 根 H 管、21 根 DH 管)屬於本計畫隔離不全管路的範圍，表 3 為根據 BWRVIP-155 的篩選評估結果並與核二廠的第四個十年大修營運期間檢測計畫進行比較之結果，則可得出因為熱疲勞因素造成的檢測週期/範圍之建議。

表 3 核二廠一號機/2 號機隔離不全管路篩選/評估結果

支管名稱	管路編號	冷/熱端	管路歸納	篩選判斷(Screen In/Out)				Reason	BWRVIP-155 檢測建議	核二廠 檢測現況
				熱何因素	洩漏流量因素(Based on EOC conditions)	溫度門檻(Based on EOC conditions)	整體因素考量			
再循環系統管路	3/4-BB-44BQ/94BQ	REC loop A	DH	—	—	—	Out	1.閥 144 BQB01 及閥 144 BQB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
再循環系統管路	3/4-BB-44R/94R	REC loop A	DH	—	—	—	Out	1.閥 144RB01 及閥 144RB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
爐水淨化管路	4-RWCU-2A/52A	REC loop A	DH	—	—	—	Out	閥 102AB04 及閥 102AB03 為 normally opened	Existing Section XI Program	有(因 IGSCC - CODE 納入檢測)
再循環系統管路	3/4-BB-44H/94H	REC loop A	DH	—	—	—	Out	1.閥 144HB01 及閥 144HB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
再循環系統管路	3/4-BB-44K/94K	REC loop A	DH	—	—	—	Out	1.閥 144KB01 及閥 144KB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
再循環系統管路	3/4-BB-44M/94M	REC loop A	DH	—	—	—	Out	1.閥 144MB01 及閥 44MB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
再循環系統管路	3/4-BB-44C/94C	REC loop A	H	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
除熱器除管路	18-RHR-6B/56B	REC loop B	H	—	—	—	Out	1.閥 106BB02及閥 106BB03 為 normally closed	Existing Section XI Program	有(因 IGSCC - CODE 納入檢測)
再循環系統管路	3/4-BB-44BQ/94BQ	REC loop B	DH	—	—	—	Out	1.閥 144 BQB01 及閥 144 BQB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
再循環系統管路	3/4-BB-44BR/94BR	REC loop B	DH	—	—	—	Out	1.閥 144 BRB01 及閥 144 BRB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
爐水淨化管路	4-RWCU-2B/52B	REC loop B	DH	—	—	—	Out	閥 102BB01 及閥 102AB03 為 normally opened	Existing Section XI Program	有(因 IGSCC - CODE 納入檢測)
再循環系統管路	3/4-BB-44BH/94BH	REC loop B	DH	—	—	—	Out	1.閥 144BHB01 及閥 144 BHB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
再循環系統管路	3/4-BB-44BK/94BK	REC loop B	H	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
再循環系統管路	3/4-BB-44BM/94BM	REC loop B	DH	—	—	—	Out	1.閥 144BMB01 及閥 144 BMB02 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	1-FW-22AZ/72AZ	FW loop A FW loop B	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
爐心降溫冷卻管路	6-RCIC-5A/55A	FW loop A	DH	In	—	In	In	第二階水平段有熱循環疑慮	(註 1)	有(因 CODE 納入檢測)
除熱器除管路	10-RHR-6V/56V	FW loop A	H	In	—	In	In	發生於水平段	(註 2)	有(因 CODE 納入檢測)
爐水淨化管路	4-RWCU-2M/52M	FW loop A	UH	—	—	—	Out	閥 102MB09 及閥 102MB01 為 normally opened	無須檢測	無
除熱器除管路	10-RHR-6X/56X	FW loop A	H	In	—	In	In	發生於水平段	(註 2)	無
爐水淨化管路	4-RWCU-2P/52P	FW loop A	UH	—	—	—	Out	閥 102PB02 及閥 102MB01 為 normally opened	無須檢測	無
飼水管路	3/4-FW-22AC/72AC	FW loop A	H	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	1-FW-23BZ/73BZ	FW loop A	DH	—	—	—	Out	1.閥 122BZB10 及閥 122 BZB08 為 normally closed 2.≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	12-FW-22S/72S	FW loop A	DH	In	—	In	In	第一階水平段有熱循環疑慮	(註 1)	無
飼水管路	14-FW-22AD/72AD	FW loop A	DH	Out	—	—	—	因機何因素 Screening Out	無須檢測	無
飼水管路	12-FW-22V/72V	FW loop A	DH	In	—	—	Out	因熱循環因素 Screening Out	無須檢測	無
飼水管路	1-FW-22AU/72AU	FW loop A	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	10-FW-22AQ/72AQ	FW loop A	H	In	—	In	In	發生於水平段	(註 2)	無
飼水管路	10-FW-22W/72W	FW loop A	DH	—	—	—	Out	閥 122WB02 及閥 122WB01 為 normally opened	無須檢測	無
飼水管路	1-FW-22AV/72AV	FW loop A	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	10-FW-22AR/72AR	FW loop A	H	In	—	In	In	發生於水平段	(註 2)	無
飼水管路	10-FW-22X/72X	FW loop A	DH	—	—	—	Out	閥 122XB02 及閥 122XB01 為 normally opened	無須檢測	無
飼水管路	1-FW-22AW/72AW	FW loop A	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	10-FW-22AS/72AS	FW loop A	H	In	—	In	In	發生於水平段	(註 2)	無
飼水管路	10-FW-22Y/72Y	FW loop A	DH	—	—	—	Out	閥 122YB02 及閥 122YB01 為 normally opened	無須檢測	無
飼水加壓管路	3/4" -BG-22BS/72BS	FW loop A	H	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	2-FW-22V/72V	FW loop A	H	In	—	—	Out	因熱循環因素 Screening Out	無須檢測	無
飼水管路	12-FW-22AH/72AH	FW loop A	H	In	—	—	Out	因熱循環因素 Screening Out	無須檢測	無
飼水管路	12-FW-22M/72M	FW loop A	H	In	—	—	Out	因熱循環因素 Screening Out	無須檢測	無
飼水管路	2.5-FW-22Z/72Z	FW loop A	DH	Out	—	—	Out	因機何因素 Screening Out	無須檢測	無

註 1：根據 BWRVIP-155 的檢測建議為”每次大修進行檢查”，此非強制性規定。

註 2：若能確認閥沒有洩漏或閥的洩漏流量不會造成熱循環的現象，則檢測建議為” Existing Section XI Program”；若能確認閥有洩漏或閥的洩漏量會造成熱循環現象，根據 BWRVIP-155 的檢測建議為”每次大修進行檢查”，此非強制性規定



核二廠 39 根(每個機組)隔離不全管路的檢測建議如下所述：

- (一) 29 根 (3/4-BB-44BQ/94BQ、3/4-BB-44R/94R、3/4-BB-44H/94H、3/4-BB-44K/94K、3/4-BB-44M/94M、3/4-BB-44C/94C、3/4-BB-44BQ/94BQ、3/4-BB-44BR/94BR、3/4-BB-44BH/94BH、3/4-BB-44BK/94BK、3/4-BB-44BM/94BM、1-FW-22AZ/72AZ、4-RWCU-2M/52M、4-RWCU-2P/52P、3/4-FW-22AC/72AC、1-FW-23BZ/73BZ、14-FW-22AD/72D、12-FW-22V/72V、1-FW-22AU/72AU、10-FW-22W/72W、1-FW-22AV/72AV、10-FW-22X/72X、1-FW-22AW/72AW、10-FW-22Y/72Y、3/4"-BG-22B5/72B5、2-FW-22V/72V、12-FW-22AH、12-FW-22M/72M、2.5-FW-22Z/72Z)為”無須檢測”。
- (二) 3 根(4-RWCU-2A/52A、18-RHR-6B/56B、4-RWCU-2B/52B)的檢測建議為”Existing Section XI Program”。
- (三) 2 根 DH 管(6-RCIC-5A/55A、12-FW-22S)根據 BWRVIP-155 的檢測建議為”每次大修進行檢查”，此非強制性規定。

- (四) 5 根 H 管(10-RHR-6V/56V、10-RHR-6X/56X、10-FW-22AQ/72AQ、10-FW-22AR/72AR、10-FW-22AS/72AS)的檢測建議為若能確認閥沒有洩漏或閥的洩漏流量不會造成熱循環的現象，則檢測建議為”Existing Section XI Program”，若能確認閥有洩漏或閥的洩漏量會造成熱循環現象，根據 BWRVIP-155 的檢測建議為”每次大修進行檢查”，此非強制性規定。

### 三、龍門廠隔離不全管路篩選/評估結果

龍門廠每個機組各有 9 根屬於本計畫隔離不全管路的範圍。表 4 為根據 BWRVIP-155 的篩選評估結果並與龍門廠的大修營運期間檢測計畫進行比較之結果，則可得出因為熱疲勞因素造成的檢測週期/範圍之建議。因這 9 根都不在大修營運期間的檢測計畫中，所以，本計畫對於龍門廠 9 根(每個機組)隔離不全管路的檢測建議如下所述：

- 9 根(0502-25、0516-20、0504-25、0506-25、0518-20、0510-25、0512-25、0514-25)為”無須檢測”。

表 4 龍門廠隔離不全管路篩選/評估結果

支管名稱	管路編號	冷/熱端	管路歸納	篩選判斷(Screen In/Out)				Reason	BWRVIP-155 檢測建議	龍門廠 檢測現況
				幾何因素	洩漏流量因素 (Based on EOC conditions)	溫度門檻 (Based on EOC conditions)	整體因素考量			
飼水管路	0502-25 (M8018)	FW loop A	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	0516-20 (M8008)	FW loop A	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	0504-25 (M8019)	FW loop A	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	0506-25 (M8046)	FW loop A	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	0023-50 (M8000)	FW loop	DH	Out	—	—	Out	1.第一階水平段因幾何因素 Screening Out 2.第二階水平段因幾何因素 Screening Out 3.第三階水平段因幾何因素 Screening Out	無須檢測	無
飼水管路	0518-20 (M8037)	FW loop B	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	0510-25 (M8024)	FW loop B	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	0512-25 (M8021)	FW loop B	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無
飼水管路	0514-25 (M8043)	FW loop B	DH	—	—	—	Out	≤1 吋	無須檢測	無



#### 四、核一廠冷熱混合 T 型管路篩選/評估結果

核一廠依據 BWRVIP-196(主要根據 MRP-192)檢視下列系統中存在有 mixing tee 的管路，包含：餘熱移除系統、爐水淨化系統、高壓注水系統、低壓注水系統、爐心隔離冷卻系統、爐心噴灑系統。因此檢視下列系統之圖面：

- (一) 餘熱移除系統(RHR)：P&ID 圖面 9891-G-162 SH.1, 2。
- (二) 爐水淨化系統(RWCU)：P&ID 圖面 9891-G-164 SH.1, 2。
- (三) 高壓注水系統(HPCI)：P&ID 圖面 9891-G-168 SH.1, 2。
- (四) 低壓注水系統(LPCI)：參考餘熱移除系統 P&ID 圖面 9891-G-162 SH.1, 2。
- (五) 爐心隔離冷卻系統(RCIC)：P&ID 圖面 9891-G-161 SH.1, 2。
- (六) 爐心噴灑系統(CS)：P&ID 圖面 9891-G-160 SH.1, 2。

根據沸水式核電廠冷熱混合 T 型管路篩選/評估流程，核一廠的冷熱混合 T 型管路篩選/評估結果如下所述：

- (一) 核一廠餘熱移除系統 T 型管路 20-RHR-4A/4B 與 16-RHR-27A/27B 中根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-1-RHR-04 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-1-RHR-05 的焊道 C14、檢測圖面 ISI-1-RHR-04 的焊道 C13、檢測圖面 ISI-1-RHR-06 的焊道 C11 與 C12、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。
- (二) 核一廠爐水淨化系統 T 型管路 16-FDW-12A 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範

圍：檢測圖面 ISI-1-FDW-02 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-1-FDW-02 的焊道 J1、J2、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。

#### 五、核二廠冷熱混合 T 型管路篩選/評估結果

核二廠依據 BWRVIP-196(主要根據 MRP-192)檢視下列系統中存在有 mixing tee 的管路，包含：餘熱移除系統、爐水淨化系統、高壓注水系統、低壓注水系統、爐心隔離冷卻系統、爐心噴灑系統。因此檢視下列系統之圖面：

- (一) 餘熱移除系統(RHR)：P&ID 圖面 M0022 SH.1,2,3。
- (二) 爐水淨化系統(RWCU)：P&ID 圖面 M-0014 SH.1,2,3。
- (三) 高壓注水系統(HPCS)：P&ID 圖面 M-0010 SH1、M-0024、M-0046。
- (四) 低壓注水系統(LPCS)：P&ID 圖面 M-0010SH1、M-0025。
- (五) 爐心隔離冷卻系統(RCIC)：P&ID 圖面 M-0020 SH.1,2。
- (六) 爐心噴灑系統(CS)：核二廠無此系統。

根據沸水式核電廠冷熱混合 T 型管路篩選/評估流程，核二廠的冷熱混合 T 型管路篩選/評估結果如下所述：

- (一) 核二廠一號機餘熱移除系統 T 型管路 14-RHR-6K 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-6K SHT 1 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-6K SHT 1 的焊道 C8、C9、C10、C11、K1、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。
- (二) 核二廠一號機餘熱移除系統 T 型管路 14-

RHR-6Q 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-6Q SHT 1 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-6Q SHT 1 的焊道 C8、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。

(三) 核二廠二號機餘熱移除系統 T 型管路 14-RHR-56K 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-56K SHT 1 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-56K SHT 1 的焊道 C9、C10、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。

(四) 核二廠二號機餘熱移除系統 T 型管路 14-RHR-56Q 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-56AP SHT 1 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-56AP SHT 1 的焊道 C9、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。

(五) 核二廠一號機 RWCU 回到飼水管路 T 型管路 18-FW-22R 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-22R SHT 3 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-22R SHT 3 的焊道 C14、C15S、C16、軸向焊道(若為有縫管，

則需要檢查沿著軸向的焊道)。

(六) 核二廠一號機 RWCU 回到飼水管路 T 型管路 18-FW-22R 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-22R SHT 4 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-22R SHT 4 的焊道 C12、C13S、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。

(七) 核二廠二號機 RWCU 回到飼水管路 T 型管路 18-FW-72R 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-72R SHT1 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-72R SHT1 的焊道 C14、C15S、C16、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。

(八) 核二廠二號機 RWCU 回到飼水管路 T 型管路 18-FW-72R 根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍→MRP-192 建議檢測週期：為保守起見，每 10 年檢測 1 次；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-72R SHT2 中至少需要涵蓋 T 型管路下游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-72R SHT2 的焊道 C12、C13S、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。

## 六、龍門廠冷熱混合 T 型管路篩選/評估結果

龍門廠依據 BWRVIP-196(主要根據 MRP-192)檢視下列系統中存在有 mixing tee 的管路，包含：餘熱移除系統、爐水淨化系統、高壓注水系統、爐心隔離冷卻系統。因此檢視龍門廠下列系統之圖面：

- (一) 餘熱移除系統(RHR)：P&ID 圖面 31113-2E11- M2001-R1 至 M2010。
- (二) 爐水淨化系統(RWCU)：P&ID 圖面 31113-2G31- M2001 至 M2010。
- (三) 高壓注水系統(HPCF)：P&ID 圖面 31113-2E22- M2。
- (四) 爐心隔離冷卻系統(RCIC)：P&ID 圖面 31113- 2E51-M2001 至 31113-2E51-M2003。

根據沸水式核電廠冷熱混合 T 型管路篩選/評估流程，龍門廠的冷熱混合 T 型管路篩選/評估結果如下所述：

- (一) 龍門廠餘熱移除系統 T 型管路 300-RHR-207  
根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍  
→MRP-192 建議檢測週期：因為目前龍門廠尚未運轉，故無法進行如核一廠與核二廠的冷熱混合 T 型管路實際運轉參數之有效時間計算與評估流程，所以暫無法提出檢測週期的建議；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-RHR-B24 中至少需要涵蓋 T 型管路上游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-RHR-B24 的焊道 C11、C12、C13、C14S、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。
- (二) 龍門廠餘熱移除系統 T 型管路 250-RHR-228  
根據 MRP-192 建議檢測週期與範圍  
→MRP-192 建議檢測週期：因為目前龍門廠尚未運轉，故無法進行如核一廠與核二廠的冷熱混合 T 型管路實際運轉參數之有效時間計算與評估流程，所以暫無法提出檢測週期的建議；MRP-192 建議檢測範圍：檢測圖面 ISI-RHR-B25 中至少需要涵蓋 T 型管路上游四個管路直徑長度範圍內的所有焊道(包含 T 型管本身結構體下游之焊道)。檢測圖面 ISI-RHR-B25 的焊道 C07S、軸向焊道(若為有縫管，則需要檢查沿著軸向的焊道)。

## 陸、建立沸水式核電廠冷熱混合碳鋼 T 型管路的量測與模擬

### 一、建立核二廠冷熱混合碳鋼 T 型管路的量測

要建立一碳鋼 T 型管冷熱流體混合的熱疲勞監測實驗，需要足夠的場地以及高價格的硬體設備(Pump、Piping...)，另外，還要考慮到所得的監測/分析結果，必須對沸水式核電廠需具代表性及參考價值，也就是在實際的核三廠管路，以非破壞或非侵入性的方式來架設實驗監控設備，此作法有兩個優點，一是所量測得到的實驗結果最能夠代表沸水式核電廠其 T 型管路的實際情形，二是可進一步了解/分析在不同的電廠運轉模式下，其 T 型管路的溫度變化情形，這些分析結果，將提供沸水式核電廠極高的參考價值。

依據 BWRVIP-196 經驗以及核二廠品質文件的調查結果，核二廠可能發生冷熱混合 T 型管路位置為 RHR 系統 B 串熱交換器出口下游與旁通(Bypass)管路之冷熱混合 T 型管路。本計畫為有效量測實際管路因冷熱混合時所產生之變化，本實驗設計採用 16 組熱電偶及 12 組應變計進行裝設及量測管路溫度及應變變化(圖 11)，熱電偶及應變計定位及設計依據 BWRVIP-196 & MRP-32 建議及現場位置狀況進行設計。

本研究於核二廠 1 號機 RHR B 串熱交換器出口處，所建置冷熱混合 T 型管路量測系統的量測過程，而 RHR B 串熱交換器出口處的 T 型管路最有可能於 RHR 系統的停機冷卻模式時，發生冷熱混合的情形，停機冷卻模式會發生於停機後 20 小時內，也就是大修期間的前 1-2 天，所以，本實驗於 102 年 12 月 10 日核二廠一號機 EOC-23 起，開始進行資料計讀，此次分析的資料時間範圍為：2013/12/09~2014/01/29，每個 Channel 有 1,909,667 筆資料。

圖 12 為 S1~S12 的應力隨時間變化的情形，圖 13 為 T1~T16 的溫度隨時間變化的情形。由於量測過程是利用應變計測量管路表面之應

變值(Strain, 單位： $\mu m$ )，而為了評估管路的疲勞狀況，因此，將所量側的應變值乘上材料的彈性模數(0.0284)，使其成為應力值(Stress, 單位：ksi)。

可以發現，溫度變化的曲線與應力變化的曲線是一致的，這是因為應變值的變化是由溫度變化直接影響。圖 14 為熱水入口的平均溫度(也就是(T13+T14+T15+T16)/4)、冷水入口的平均溫度(也就是(T9+T10+T11+T12)/4)、熱水入口與冷水入口溫度差其隨時間變化的情形。可以發現：最大的溫度差為 37.26°C(發生時間為 2013/12/11 10:25:30)，小於 BWRVIP-196 所規定的上限 50 °C，故此位置於 EOC-23 這段期間不會有熱疲勞疑慮。

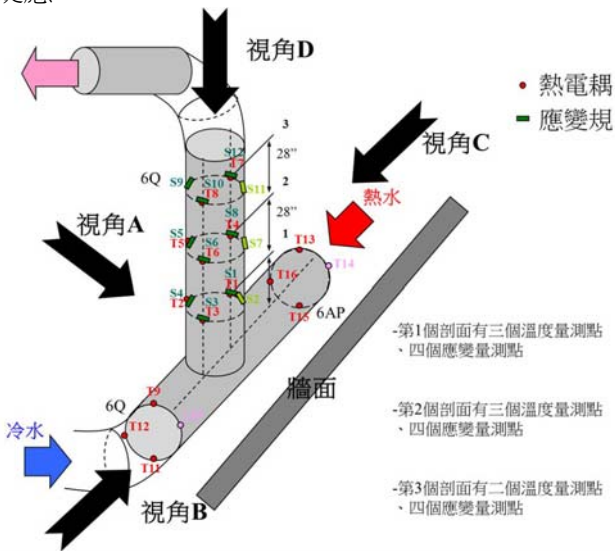


圖 11 溫度計與應變計的安裝位置

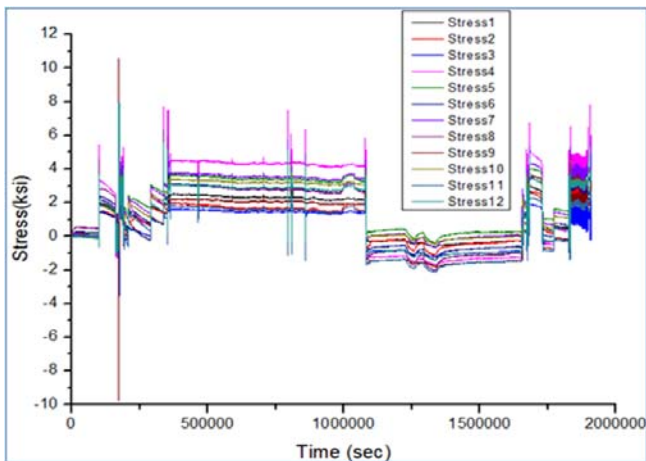


圖 12 應力隨時間的變化

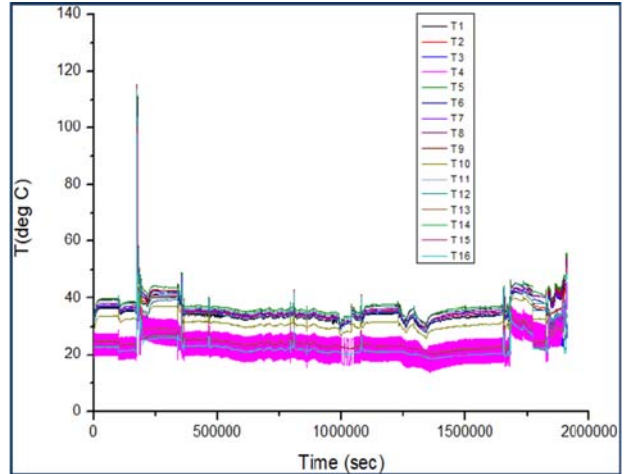


圖 13 溫度隨時間的變化

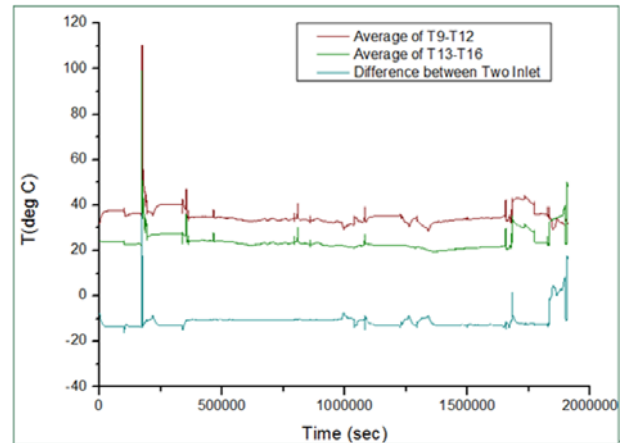


圖 14 熱水與冷水入口溫度差其隨時間變化的情形

圖 15 為利用此次量測數據來進行分析管路熱疲勞程度，所建立的分析管路疲勞程度之流程圖。

- (一) 利用應變計所測量得到的應變歷程值，經由彈性模數的轉換而得到應力歷程值。
- (二) 進行雨流法(Rain Flow)分析，計算出各個( $S_{alt}$ )值的次數。
- (三) 若( $S_{alt}$ )小於 ASME Code, Section III, Appendix I, Figures I-9.1 的疲勞限(12.5ksi)，則無疲勞問題。
- (四) 若( $S_{alt}$ )大於 ASME Code, Section III, Appendix I, Figures I-9.1 的疲勞限(12.5ksi)，計算出各個( $S_{alt}$ )值的循環次數(Cycles Count)，進而計算出累計疲勞因子(CUF)。

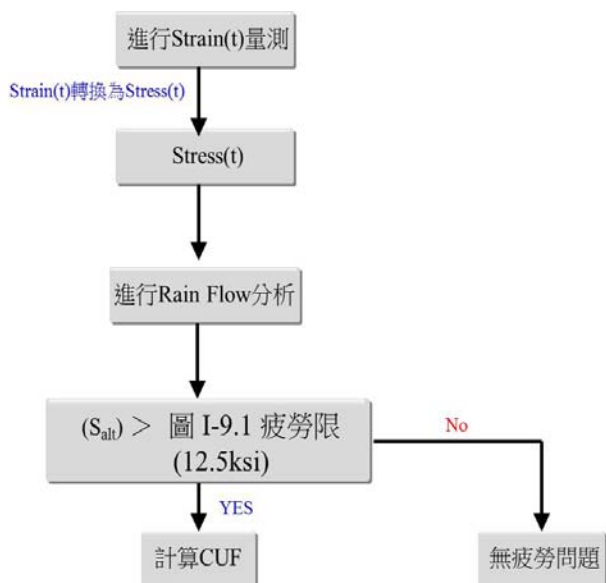


圖 15 分析管路疲勞程度之流程圖

針對圖 12 的 S1~S12 之應力值歷程進行圖 15 的 RainFlow Method 的分析。可以發現，循環次數主要都落在(S<sub>alt</sub>)為 0~0.5ksi 之間，而((S<sub>alt</sub>)<sub>max</sub>)的循環次數都只有 1 次，且小於 ASME Code, Section III, Appendix I, Figures I-9.1 的疲勞限 (12.5ksi)，因此，從 RainFlow Method 的分析可以得知，核二廠 1 號機 B 串的 RHR Heat Exchanger 出口之 T 型管路於 EOC-23 的大修期程無熱疲勞問題。

## 二、建立核二廠冷熱混合碳鋼 T 型管路的模擬

由於 BWRVIP-196 並無碳鋼材料的對應有效時間參考表，且因管路之熱疲勞程度會隨不同電廠之運轉條件而變，包括溫度變動頻率、熱邊界條件如對流熱傳導係數、管徑、及管壁厚等，另因多數 BWR 廠有熱疲勞疑慮之管路材質多屬碳鋼，因此 EPRI 於 BWRVIP-196 之 Appendix A 發展了一套熱傳導與熱應力之理論解計算程序，以法國西佛核電廠(Civaux NPP)發生熱疲勞之管路相關參數及疲勞累積時間作 benchmark，目的在驗證 BWR 廠碳鋼管之熱疲勞問題之特性何在。

此模擬理論假設溫度變動為正弦波型，作用於厚度為 h 之管壁內側並經由邊界之對流熱傳遞

係數 h 對管壁傳遞溫度變動，於管壁解出溫度分布之穩態解後，進而求出隨管內水溫變動之管壁應力變動幅度、及其於疲勞曲線中之許可次數。管壁的內表面之應力變動幅度算式如下式，該理論解的詳細請參考 BWRVIP-196 Appendix A。

$$\frac{1-\nu}{\alpha E} \sigma_{\theta\alpha 0} = \sqrt{(\zeta_1 - \alpha_1)^2 + (\zeta_2 - \alpha_4)^2}$$

管壁的內表面之應力變動幅度算式中所使用之參數包含：水溫變動頻率、材料熱傳導係數、熱擴散係數、對流熱傳遞係數，其中水溫變動頻率可使用於核二廠所蒐集運轉溫度計算並代入，材料熱傳導係數則使用碳鋼之材料規範，求解過程中為獲得相應之對流熱傳遞係數以完成計算，保守的以法國西佛廠經驗設定裂紋初始前之累積疲勞時間為 450 小時，據此得出可用之對流熱傳遞係數 h=6400 Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F，並進而解出碳鋼管壁之應力值。

本研究利用 BWRVIP-196 Appendix A 理論模式針對核二廠受篩入之 T 型管進行之理論參數求解，計算結果包含應力變動幅度及相應之許可次數。並與 BWRVIP-196 中針對 BWR 的 RHR 系統之 1 根碳鋼管路(18inch)分析結果作比較。模擬計算結果(表 5)分析如下所述：

核二廠 RHR 系統管路(6K、6AN、6Q、6AP)之應力振幅(132.49MPa、80.03MPa、103.99MPa、108.79MPa)與 BWRVIP-196 所分析的結果(應力振幅為 114MPa)，循環次數>10<sup>11</sup> 接近，故不會發生因冷熱混合造成 T 型管路熱疲勞的疑慮。而核二廠 RWCU 回到飼水系統的 T 型管路(22R、2M、2P)之應力振幅(220.28MPa、210.58MPa、210.58MPa、108.79MPa)所造成的循環次數<10<sup>11</sup>，則會發生因冷熱混合造成 T 型管路熱疲勞的疑慮，但因此段 T 型管路有安裝熱套管(Thermal Sleeve)，所以，可避免冷熱混合造成 T 型管路熱疲勞。



表 5 冷熱混合碳鋼 T 型管路模擬分析應力及許可次數之結果(核二廠)

	stress amplitude	Adj' s for non-zero mean load	N
	$\sigma_{eq}$ (MPa)	$\sigma_{eq}$ (MPa)	
18" -22R	183.27	220.28	8,111,868
4" -2M	170.22	210.58	180,000,000
4" -2P	170.22	210.58	180,000,000
14" -6K	87.16	132.49	>10 <sup>11</sup>
14" -6AN	80.03	80.03	>10 <sup>11</sup>
14" -6Q	64.06	103.99	>10 <sup>11</sup>
14" -6AP	67.75	108.79	>10 <sup>11</sup>
Appendix A example	-	114.00	>10 <sup>11</sup>

## 柒、誌謝

「沸水式核電廠隔離不全管路與 T 型管路熱疲勞安全評估及管制研究」計畫自 101 年 12 月開始執行以來，承蒙核一廠、核二廠與龍門廠的鼎力相助，以及台電核安處謝楊正居中協調和張組長的大力支持，使得計畫能順利進行，進而使我國具備沸水式核電廠隔離不全管路與冷熱混合 T 型管路的篩選/評估之能力。

## 捌、參考文獻

- [1] BWRVIP155: Evaluation of Thermal Fatigue Susceptibility in BWR Stagnant Branch Lines, June, 2006.
- [2] BWR-196: Assessment of Mixing Tee Thermal Fatigue Susceptibility in BWR Plants, September, 2008.
- [3] EPRI, "MRP-146 Revision 1: Management of Thermal Fatigue in Normally Stagnant Non-Isolable Reactor Coolant System Branch Lines," Revision 1, Jun. 2011.
- [4] EPRI, "MRP-192 Revision 2: Assessment of RHR Mixing Tee Thermal Fatigue in PWR Plants," Aug. 2012.
- [5] EPRI, "MRP-32 Revision 1: Thermal Fatigue Monitoring Guidelines," Jun. 2011.
- [6] EPRI, "MRP-25: Operating Experience Regarding Thermal Fatigue of Unisolable Piping Connected to PWR Reactor Coolant Systems," Dec. 2000.
- [7] EPRI, "MRP-132: Operating Experience Regarding Thermal Fatigue of Piping Connected

- to PWR Reactor Coolant Systems," Dec. 2004.
- [8] EPRI, "MRP-170: EPRI Thermal Fatigue Evaluation per MRP-146," Mar. 2006.
- [9] EPRI, "MRP-146S: Management of Thermal Fatigue in Normally Stagnant Non-Isolable Reactor Coolant System Branch Lines-Supplemental Guidance," Jan. 2009.

# 電動車(含充電站)V2G 標準之研究

The Study on the Development of Electric Vehicles (including Charging Stations)

V2G Draft Standards

盧豐彰\*  
Lu, Feng-Chang

林章平\*  
Lin, Chang-Ping

陳士麟\*\*  
Chen, Shi-Lin

曾德育\*  
Zeng, De-Yu

葉志強\*  
Ye, Jhih-Ciang

范純裕\*  
Fan, Chun-Yu

陳誠章\*\*\*  
Chen, Cheng-Chang

## 摘要

V2G 實現了電網與電動車之間電力可雙向傳送的概念，為未來智慧電網技術重要發展方向之一。V2G 應用之商業化，必須仰賴電動車充電設備、電動車電池、與智慧電網等相關技術與成熟的市場才有機會導入。相關標準制定與商業模式發展，為 V2G 技術被廣泛導入的關鍵。在標準部分，由於當中包含充電、車用電池與通訊技術之應用，因此必須由電業與汽車製造商在充電介面及通訊協定上，共同研議統一之規範與標準。依據國外相關研究，在電網管理不完善的情況下，可預期在一定數量的電動車輛同時進行充電時，將會衝擊現有電力網路。但若有相當的因應措施，則可對於用電安全之衝擊降到最低。因此，建構電動車與電網間之通訊介面即為首要工作。此外，政府相關單位亦正展開智慧電網總體規劃<sup>[1]</sup>。其中，在智慧用戶端部分，由於電動車會對電網安全造成衝擊，也將電動車與電網間之一致性通訊技術納入相關討論中。本研究蒐集目前美國、中國大陸、日本、歐洲具代表性國家或地區正在發展之電動車(含充電站)與電網/充電站調度中心等之間的相關標準，並研擬可適用於國內產業之互通性標準草案。本研究所草擬之國內電動車(含充電站)標準，有助於台灣智慧電網產業之發展。

## Abstract

V2G is one of important developments for the smart grid technology in the future. It realize the concept that electrical power can be transferred bi-directionally between the power grid and electric vehicles. The opportunity of utilizing V2G in commercial application relies on the maturity of the market and related technologies of electric vehicle charging equipment, electric vehicle batteries and smart grid, etc. Related standards and business model development are also a key to wide use of V2G technologies. With regard to utilization standards, which is supposed to include battery charge, the application of battery pack and communications technologies, the electric industry and car manufacturers have to work together to draft common codes and standards for charging interfaces and communication protocols. According to foreign research, in an imperfect power grid management, it can be

\*大華科技大學

\*\*中原大學

\*\*\*經濟部標準檢驗局

expected that when a large number of electric vehicles are being charged at the same time, the operation of existing power grid will be adversely influenced. However, if we take some corrective measures, we can minimize the impact on electrical safety. Thus, establishing an adequate communication interface between the electric vehicle and the power grid is considered a top priority.

Currently, the government is in the process of conducting the overall smart grid planning. Considering the impact of using the electric vehicles of on power grid security at the side of intelligent consumers, the consistency of communication technologies between electric vehicles and power grid is incorporated in relevant discussions during the study. This study have collected relevant standards being developed in the United States, China, Japan, representative country or region in Europe with regard to the aspects of electric vehicles (including charging stations) connection with power grid or charging station dispatch center. To draft the common standard that can be applicable to the domestic industry, this study aims to build domestic electric vehicles (including charging stations) standards in order to support the development of the smart grid industry in Taiwan.

**關鍵詞(Key Words)：**電動車輛充電站(Electric Vehicle Charging Station)、V2G(Vehicle to Grid)、互通性標準(Interoperability Standard)。

## 壹、前言

國際能源署(International Energy Agency, IEA)2009年預估,2050年因為EV/PHEV的大規模導入,將使全球電力需求量增加10%;美國電力研究院(EPRI)研究也指出,若全美國60%汽車替換為電動車,美國電力需求將成長9%。顯示EV/PHEV普及率增加後,將對電力系統負載產生極大之負荷,進而增加發、輸、配電系統的壓力,屆時電力公司的裝置容量與電力輸送設備,也必須隨之調整,例如輸電線與變壓器需隨之更新,也需調度備載機組,以因應大批電動車於尖峰時段充電之情況,而使電力公司維運成本增加。因此,包含電力公司、電動車廠與IT公司,目前均積極研發解決充電時間管理問題之技術,目標在於能同時解決供給面與需求面問題,期望不僅能解決電網端到電動車電池端(G2V)的單向管理問題,更能進一步發展電動車電池端向

電網端提供電力的技術,以達成雙向管理的終極目標。亦即,使電動車不僅做為一個電力消耗體,同時亦可適度利用閒置時電動車電池的能量為電網(Vehicle to Grid, V2G)或家庭(Vehicle to Home, V2H)或商業大樓(Vehicle to Building, V2B)提供電力,甚至將電動車電池視為再生能源的儲能單元。V2G實現了電網與電動車之間電力可雙向傳送的概念,為未來智慧電網技術重要發展方向之一<sup>[2]</sup>。

1997年,美國的德拉瓦大學的Willet Kempton, Steven E. Letendre第一次詳細地闡述了V2G的基本觀點,並說明其經濟性和可行性。V2G的核心思想就是利用大量電動汽車的儲能源作為電網和可再生能源的緩衝。當電網負載過高時,由電動汽車儲能源向電網饋電;而當電網負載低時,用來存儲電網過剩的發電量,避免造成浪費。通過這種方式,電動汽車使用者可以在電價低時,從電網買電,電網電價高時向電網售電,從而獲得一定的收益。2009年9月21日,

美國德拉瓦州州長簽署了世界上第一部關於電動車輛併網的價格的法律。2014 年 9 月 28 日，德拉瓦大學的 Willet Kempton 教授與企業聯合在當地建立了一個示範工程，並用資料證明，該方案的可行性與經濟性<sup>[3]</sup>。

目前電力公司、電動車製造商、資訊科技產業已開始競相參與電動車充電基礎設施的市場<sup>[4]</sup>，期望能以掌握電力資訊為核心推出新服務，以擴大事業範圍，而 V2G 技術有可能成為此市場實現的關鍵技術。然而，V2G 應用之商業化，必須等待電動車充電設備、電動車電池、與智慧電網等相關技術與市場的成熟才有機會導入。相關標準制定與商業模式發展，為 V2G 技術被廣泛導入的關鍵。在標準部分，由於當中包含充電、車用電池與通訊技術之應用，因此必須由電力公司與汽車製造商在充電介面及通訊協定上，共同研議統一之規範與標準，唯有形成統一之規範體系，V2G 技術才有擴大導入之空間。

近年來，世界先進各國尤其以歐美日為首的國家，均積極推動電動車輛，依據丹麥及以色列相關研究，可預期的在一定數量的電動車輛使用充電時，在未有相當電網管理的情況下，勢必會衝擊到現有電力網路。若有相當的因應措施，則可使用電安全之衝擊降到最低<sup>[5-6]</sup>。因此，建構電動車與電網間之通訊介面即為首要工作。此外，國內相關單位亦正展開智慧電網總體規劃<sup>[1]</sup>，其中在智慧用戶端部分，考量電動車對電網間的衝擊，也將電動車充電與電網間之一致性通訊技術納入相關討論中。

本研究目的如下：

- 一、蒐集目前美國、中國大陸、日本、歐洲具代表性國家或地區正在發展之電動車及含充電站併網(V2G)與電業/充電站調度中心等之間的相關標準<sup>[7-19]</sup>。
- 二、研擬電動車(含充電站)與電業/充電站調度中心等之間的互通性標準草案。

## 貳、國內外電動車(含充電站)相關標準制定組織

### 一、國外電動車(含充電站)相關標準制定組織<sup>[1]</sup>

#### (一) 國際標準組織(ISO)

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)成立於 1947 年 2 月 23 日，為一非政府組織，是目前世界上最大及最具權威性的國際標準化專門機構。其成立的宗旨為，促進全球標準化工作的發展，便於國際物資的交流與服務，並擴大在知識、科學、技術和經濟方面的合作。主要是在制定除電氣工程、電子工程和通訊等領域以外所有的國際標準。雖然 ISO 係以各國國家標準機構代表的國際標準建立的機構，成員包括 162 個會員國，但該組織自我定義為非政府組織。目前有關道路車輛相關國際標準是由 ISO 道路車輛技術委員會(ISO TC22 road vehicles)進行標準制定與修訂，技術層面涉及車輛上之電子電機設備技術者，由該委員會轄下之分組委員會 ISO TC22/SC 03 電機及電子設備小組(Electrical and Electronic Equipment)負責相關標準發展工作；涉及車輛安全、測試及性能者由 ISO TC22/SC 21 道路電動車輛小組(Electrically Propelled Road Vehicles)負責標準發展工作。

#### (二) 國際電工委員會(IEC)

國際電工委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)成立於 1906 年，是世界上最早的國際標準化組織，主要是負責有關電力工程和電子工程領域中的國際標準化工作。國際電工委員會在 1906 年 6 月 26 日由英國的電力工程師協會(IEE)和美國的電力電子工程師協會(IEEE)以及其它相關組織共同舉行了其成立會議。目前有超過 130 個國家參與國際電工委員會，其中 67 個國家是成員，另外 69 個國家則是非正式成員的身份加入其分支機構。國際電工委員會的總部最初位於倫敦，1948 年搬到了位於瑞士日內瓦的現總部處。1947 年 IEC 作為一個電工部門併入

ISO，1976年又從ISO中分立出來。目前有關電動車輛之電器設備(充電系統及配電設備)是由IEC 電動道路車輛及電動道路貨車技術委員會(IEC TC69 Electric road Vehicles and Electric Industrial Trucks)轄下之電源供應及充電器工作組(IEC TC69/WG4 Power Supplies and Chargers)負責標準之制定與修訂。另外，電動車輛與電網間通訊涉及其他電器設備，諸如充電系統及配電設備，則由IEC 電動車輛及電動貨車技術委員會(IEC TC69 Electric Road Vehicles and Electric Industrial Trucks)轄下之電源供應及充電器工作組(IEC TC69/WG4 Power Supplies and Chargers)進行標準訂定及修訂。

雖然IEC和ISO二者在工作範圍上有明確的界定，但隨著高新技術的迅速發展和滲透，二者之間相互交叉的國際標準化領域和項目越來越多。為了減少工作重疊，確保國際標準體系的一致，IEC和ISO不僅在技術層次上加強合作，而且在機構和管理方面採取了一係列協調措施，其中包括成立了ISO / IEC 聯合計畫委員會，負責對有交叉或有爭議領域的事務進行協調和規劃；共同制定ISO / IEC 導則，使兩個組織在標準制定和標準格式上保持一致。例如：IEC及ISO針對電動車輛與電網間之通訊介面進行合作，並組成聯合工作組(Joint Working Group, JWG)進行電動車輛國際標準訂定。

### (三) 美國汽車工程師學會(SAE)

美國汽車工程師學會(Society of Automotive Engineers, SAE)成立於1905年，最初為汽車工程師建立的協會，目前是全球活躍的專業協會和標準組織，也是國際上最大的汽車工程學術組織。研究物件主要強調的是運輸行業，如轎車、載重車及工程車、飛機、發動機、材料及製造等。SAE 通過委員會(Committees)和專案小組(Task Force)進行各種車輛技術標準的制定。SAE 所制定的標準具有權威性，普遍為汽車行業及其他行業所採用，並有相當部分被採用為美國國家標準。

### (四) 美國電機電子工程師學會(IEEE)

電機與電子工程師學會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)建立於1963年1月1日，是由無線電工程師協會(IRE，創立於1912年)和美國電機工程師協會(AIEE，創建於1884年)所合併而成的，目前是世界上最大的專業技術組織之一，擁有來自175個國家的36萬會員。除設立於美國紐約市的總部以外，亦在全球150多個國家擁有分會，並且還有35個專業學會及2個聯合會。其每年均會發表多種雜誌、學報、書籍，亦舉辦至少300次的專業會議。

IEEE 定位在科學和教育，並且是以電子電機工程、通訊、計算機工程、計算機科學理論和原理等為主要領域研究的組織，以及相關工程分支的藝術和科學。IEEE 也是一個廣泛的工業標準開發者，其制定了超過900個現行工業標準，對工業界有著極大的影響，工業標準涵蓋領域包括：電能、能源、生物技術和保健、資訊技術、資訊安全、通訊、消費電子、運輸、航天技術和奈米技術。

## 二、國內電動車(含充電站)標準制定組織

行政院經濟部標準檢驗局是國內最高商品檢驗主管機關，其主要任務為配合國家經建計畫制定(或編修)國家標準、工業政策執行商品檢驗，以提高我國商品之國際競爭力及保障消費者權益；推行國際標準品質保證制度及環境管理系統，以提升我國品質保證及環境管理水準；辦理全國度量衡標準之劃一、實施、以及其他檢(試)驗服務。

事實上，標準檢驗局除了持續關注國際標準及先進國家標準的發展趨勢及產業現況，亦配合訂定電動車相關國家標準，提供廠商從產品設計時即導入相關技術規範要求，並整合國內檢測組織協助廠商進入國際市場競爭力。標準檢驗局為推行產業政策並與國際接軌，除參考最新國際標準，同時亦邀集產官學研各單位併行考量國內產業現況及需求，制定一系列符合國內環境的電動



車輛國家標準。

近年來，電動車輛產業已成為歐美日等先進國家積極推動的競爭性新興產業，各國均已投入大量資源，並制定相關標準以建構良好的電動車輛運行環境。標準檢驗局為推行產業政策並與國際接軌，除參考最新國際標準，同時亦邀集產、官、學、研等單位研考國內產業現況及需求，制定一系列符合國內環境的電動車輛國家標準。後續經濟部標準檢驗局將持續掌握國外有關電動車(含充電站)V2G 相關標準制定進度，並衡量國內現況，調和制定 CNS 國家標準。

## 參、國內外電動車輛充電站與電網間之併網標準

### 一、國外電動車輛充電站與電網間之併網標準<sup>(8)</sup>

隨著電力需求成長，能源短缺及環保議題愈受重視，新能源及分散式低碳電源之導入漸受青睞。傳統仰賴集中式發電之供電結構易因區域性故障之引發連鎖事故。並且一旦集中式電廠或電網的關鍵性匯流排遭受破壞，亦影響電源供應安全。因此，電源結構逐漸由集中式轉為分散式乃是未來的發展趨勢。

由於智慧型電網及電力系統自動化技術的蓬勃發展，未來當電動車輛及充電站數量達到一定的規模後，電動車輛蓄電池將可被視為智慧型電網中分散式電源或儲能裝置的一環，但由於電動車輛蓄電池容量有限，主要被用來作為緊急電源或提供輔助服務之用。當其併入電網之容量占比逐步提高而達到某個程度時，亦會影響電力系統的穩定度。為解決此問題，歐、美、日各先進國家正積極發展智慧型電網，俾即時有效監控/調度分散式電源，改善現行電網保護及電壓、頻率的調整機制，提昇電網的自愈、反應能力，以降低分散式電源併網帶來的衝擊，避免電網因連鎖事故引發的大規模停電。

IEEE 於 2003 年正式頒布分散式電源併聯

法規 IEEE Std.1547，此標準建立了分散式電源和電力系統之間併聯的相關準則及規範。其中，分散式電源的頻率為 60Hz 且併聯於電力系統的一次和/或二次配電電壓，在共同耦合點(PCC)的總發電容量小於 10MVA，而此標準所考慮的分散式電源是安裝於放射狀電網的一次及二次側。此標準提供有關併聯的性能、操作、測試、安全考量及維護等，其中分散式電源機組可為同步發電機、感應發電機或靜態功率變頻器/轉換器等，也都必需符合文中有關技術及測試規範。經過 10 年的演進，對於更趨密集的分散式電源也帶來了新的市場挑戰，IEEE Std.1547 衍生了 1547.1~1547.7 等 7 個擴展標準，以解決更深領域的挑戰，包括：性能測試、監控、資訊交換和控制等。

美國電力研究所於 2008 年 12 月 22 日出版 Smart Charging Development for Plug-in Hybrid and Electric Vehicles Preliminary Use-Cases Development for SAE Recommended Practice J2836，為最早訂定 V2G 資通訊方案的機構。美國國家標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)訂定 14 項優先執行方案(Priority Action Plans)，其中一項即為 V2G 標準。

英國分散式電源併聯法規主要有 BS EN 50438-2007 微型發電設備併入低壓配電網技術需求和嵌入式發電廠併入公共配電網相關標準。其中，英國 BS EN 50438-2007 係針對的微電源為併入 230V、400V 配電網單相電流不超過 16A 的分散電源；嵌入式發電廠併入公共配電網標準是由電力協會制定，其中 ER G59/1 為適用於併入 20kV 以下配電網，且容量不超過 5MW 的小型電源併網標準；ER G75/1 為適用於併入 20kV 以上電壓等級配電網，且容量大於 5MW 的電源併網標準；ER G83/1 為單相 16A 以下小規模嵌入式發電設備併入公共低壓配電系統標準。

德國分別於 2008 年 1 月和 2011 年 8 月發佈了發電廠併入中壓電網併網指南和發電系統併入低壓配電網併網指南，這兩項指南都考慮了可

再生能源發電的併入，適用於風力發電、水力發電、太陽能發電、生物質能發電、沼氣發電或天然氣火力發電系統等藉由同步電機、非同步電機或變流器併入中低壓電網的發電系統。此外，德國還發佈了 DIN EN 50438-2008 及微型發電機併入公共低壓配電網的併聯要求。

加拿大目前有 2 個主要的互聯標準，包括：C22.2 NO.257 基於逆變器的微電源配電網互聯標準和 C22.3 NO.9 分散式電力供應系統互聯標準，其中 C22.2 NO.257 標準適用於基於逆變器的分散式電源與 0.6kV 以下的低壓配電網互聯要求，C22.3 NO.9 適用於併入 50kV 以下配電網、併網容量不超過 10MW 的分散式電源。

中國國家電網公司先後於 2010 年和 2011 年發佈了 Q/GDW 480-2010 分散式電源併入電網技術規範、Q/GDW 666-2011 分散式電源併入配電網測試技術規範、Q/GDW 667-2011 分散式電源併入配電網運轉控制規範和 Q/GDW 677-2011 分散式電源併入配電網監控系統功能規範等 4 項企業標準。其中 Q/GDW 480-2010 標準適用於國家電網公司經營區域內以同步電機、感應電機、變流器等形式併入 35kV 及以下電壓等級電網的分

散式電源，後 3 項標準適用於國家電網公司經營區域內以同步電機、感應電機、變流器形式併入 10kV 及以下電壓等級配電網的分散式電源。

另根據日本「系統連系規程 Grid Interconnection Code (JEAC 9701-2010)」以及財團法人日本電氣協會在 2010 年以及 2011 年舉行系統併聯專門會議結論，大量的分散式電源併接於配電系統時，在系統安全性之疑慮最主要的是在於當配電系統線路發生故障時，線路上的主保護設備會跳脫隔離故障區域，但由於分散式電源仍然持續供電，因此無法進行故障問題排除。此外，根據日本在分散式電源整合配電系統上模擬與測試分析發現，當分散式電源占比超過 5~20% 的配電線路容量，就可能發生系統過電壓之情形；當分散式電源占比超過 20% 的配電線路容量，就會有導致電網保護設備誤動作之可能；當分散式電源占比超過 40% 的配電線路容量，就會增加短路容量，造成配電系統安全運轉之問題。

茲針對 IEEE Std.1547 分散式電源併網技術規範之電力技術內涵，說明如下(表 1)：

表 1 IEEE Std.1547 分散式電源併網技術規範之電力技術內涵<sup>9-10)</sup>

項目	電力技術內涵
一般	<p>電壓規定(Voltage Regulation)：</p> <p>DR 不能主動調節共同耦合點(PCC)的電壓且不能造成區域電網在其它當地電網的供電電壓違反 ANSI C84.1-1995 Rang A 的規範。</p> <p>區域電網接地整合(Integration with Area EPS grounding)：併聯 DR 機組的接地設計所造成的過電壓，應不能超出連接於區域電網設備的額定值，且不能造成區域電網的接地故障保護協調失效。</p> <p>監控條款(Monitoring Provisions)：</p> <p>對於接在 PCC 上的每部容量大於 250kVA 的 DR 機組或合計總容量大於 250kVA 的 DR 機組群，對於其連接狀態、實功率輸出、虛功率輸出及 DR 連接點的電壓都應訂定監控條款。</p> <p>電磁干擾防護(Protection from Electromagnetic Interference)：</p> <p>併聯系統應有抵抗電磁干擾(Electromagnetic Interference, EMI)環境的能力且符合 IEEE Std. C37.90.2-1995 的規範。EMI 對併聯系統的影響應不能造成系統狀態的改變或系統的誤動作。</p> <p>突波承受性能(Surge Withstand Performance)：</p> <p>併聯系統應有忍受電壓及電流突波的能力且符合 IEEE Std. C62.41.2-2002 或 IEEE Std. C37.90.1-2002 所定義的電氣環境。</p> <p>併聯設備(Paralleling Device)：</p> <p>併聯系統中的併聯設備應有能力抵抗併聯系統額定電壓的 220%。</p>

項目	電力技術內涵															
電壓 變動率	<p>與區域電網併聯的 DR 機組，其所造成的 PCC 電壓變動率不得超過±5%。併聯系統的保護功能在於偵測區域電網的相-相電壓有效值或基準值，除了採用 Y-Y 接地的變壓器或單相設備量測相-中性點的電壓，其餘設備皆量測相-相的電壓，以完成偵測電壓變動目的。</p> <p>表 A.1 為電壓運轉範圍之規範，當 DR 機組的電壓界於表 A.1 所列的電壓範圍內時，則其機組應在指定清除時間(Clearing Time)內停止對區域電網供電。另外，對於尖峰容量(Peak Capacity)小於 30kW 的 DR 機組，其電壓設定點和清除時間為一定值或依其系統狀況、機組特性等做調整；若尖峰容量超過 30kW，則電壓設定點為可調。</p> <p>下列任一情況，可在 PCC 或 DR 機組連接點偵測電壓變動：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 連接到 PCC 的 DR 機組總容量小於 30kW。</li> <li>2. 能證明要連接到系統的併聯設備有通過非孤島測試(Non-islanding test)。</li> <li>3. 在 15 分鐘時間內，DR 機組的總容量小於當地電網全年最小總計綜合電力需求的 50%且不容許 DR 機組輸出實功率或虛功率到區域電網。</li> </ol> <p style="text-align: center;">表 A.1 併聯系統對異常電壓變動之響應</p> <table border="1" data-bbox="491 750 1214 947"> <thead> <tr> <th>電壓範圍(基準電壓之百分率)</th> <th>清除時間(s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V&lt;50</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>50 ≤ V &lt; 88</td> <td>2.00</td> </tr> <tr> <td>110 &lt; V &lt; 120</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>V ≥ 120</td> <td>0.16</td> </tr> </tbody> </table> <p>資料來源：a. Base voltages are the nominal system voltages stated in ANSI C84.1 Table 1. b. DR ≤ 30 kW, maximum clearing times; DR &gt; 30 kW, default clearing times.</p>	電壓範圍(基準電壓之百分率)	清除時間(s)	V<50	0.16	50 ≤ V < 88	2.00	110 < V < 120	1.00	V ≥ 120	0.16					
	電壓範圍(基準電壓之百分率)	清除時間(s)														
V<50	0.16															
50 ≤ V < 88	2.00															
110 < V < 120	1.00															
V ≥ 120	0.16															
頻率 變動率	<p>當併聯系統的頻率範圍在表 A.2 所列的範圍內時，則 DR 機組應在其指定清除時間內停止對區域電網供電。對於尖峰容量小於 30kW 的 DR 機組，表 A.2 中的頻率設定點和清除時間可為一定值或依其系統狀況、機組特性等做調整；若尖峰容量超過 30kW，則頻率設定點為可調。</p> <p style="text-align: center;">表 A.2 併聯系統對異常頻率變動之響應</p> <table border="1" data-bbox="295 1167 1409 1402"> <thead> <tr> <th>DR 容量</th> <th>頻率範圍(Hz)</th> <th>清除時間(s)a</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">≤ 30kW</td> <td>&gt;60.5</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>&lt;59.3</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">&gt;30kW</td> <td>&gt;60.5</td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td>&lt;(59.8-57.0) 設定點可調</td> <td>可調，其範圍從 0.16 到 300</td> </tr> <tr> <td>&lt;57.0</td> <td>0.16</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">DR ≤ 30 kW, maximum clearing times; DR &gt; 30 kW, default clearing times.</p>	DR 容量	頻率範圍(Hz)	清除時間(s)a	≤ 30kW	>60.5	0.16	<59.3	0.16	>30kW	>60.5	0.16	<(59.8-57.0) 設定點可調	可調，其範圍從 0.16 到 300	<57.0	0.16
DR 容量	頻率範圍(Hz)	清除時間(s)a														
≤ 30kW	>60.5	0.16														
	<59.3	0.16														
>30kW	>60.5	0.16														
	<(59.8-57.0) 設定點可調	可調，其範圍從 0.16 到 300														
	<57.0	0.16														
電力 品質	<p>直流注入的限制(Limitation of dc Injection)：</p> <p>DR 機組和其併聯系統所注入區域電網的直流應不能大於 DR 機組連接點滿載額定輸出電流的 0.5%。</p> <p>DR 機組引起的電壓閃爍限制(Limitation of Flicker Induced by the DR)：</p> <p>電壓閃爍污染嚴重時，會造成日光燈或白熾燈等燈具光度的閃變，使人的視覺產生不舒適感，甚至造成設備誤動作。所以 DR 機組不應對區域電網的其它用戶產生不利的電壓閃爍，相關之參考標準包含 IEEE Std.519-1992、IEEE P1453、IEC/TR3 61000-3-7、IEC 61000-4-15 及 IEC 61400-21。</p> <p>諧波(Harmonics)：</p> <p>當 DR 機組供電給平衡線性負載時，諧波電流注入區域電網之 PCC 應在 IEEE Std. 519-1992 之限制值內，如表 A.3。</p> <p style="text-align: center;">表 A.3 最大諧波電流失真率</p> <table border="1" data-bbox="260 1850 1444 1928"> <thead> <tr> <th>諧波次數(奇次諧波)</th> <th>h&lt;11</th> <th>11 ≤ h &lt; 17</th> <th>17 ≤ h &lt; 23</th> <th>2 ≤ h &lt; 35</th> <th>35 ≤ h</th> <th>TDD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>%</td> <td>4.0</td> <td>2.0</td> <td>1.5</td> <td>0.6</td> <td>0.3</td> <td>5.0</td> </tr> </tbody> </table> <p>資料來源：IEEE 1547。 註：偶次諧波限制為上述奇次諧波限制值的 25%。</p>	諧波次數(奇次諧波)	h<11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	2 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD	%	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0	
諧波次數(奇次諧波)	h<11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	2 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD										
%	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0										

## 二、國內電動車輛充電站與電網間之併網標準

導入潔淨之分散式電源及提高電力網效率為我國既定之能源政策及發展重點。2004 年第七次全國科學技術會議中經濟部能源局擬定之未來分散式發電近程目標及長程發展為：於 2010 年建立系統保護、電力調節技術、電力品質改善技術、孤島效應保護技術；於 2020 年建立相關標準法規、費率及營運模式、系統保護、運轉調度技術及儲能技術。2014 年我國現有集中式電源(發電系統)之占比為 94.6 %以上，且輸配電結構以單向輸配、單向調控為主，缺乏雙向監控及分

散式電源、需量反應等之導入機制，限制了分散式電源的發展。因此亟需開發具即時監控/調度、雙向回饋機制及高速大容量運算能力之電力監控系統，以搭配逐步擴大之再生能源/分散式發電容量占比，作為未來電網結構升級之系統架構參考。

目前國內尚未制定有關電動車輛充電站與電網間之併網標準，2009 年台電公司依據再生能源發展條例第八條第四項之規定訂定「再生能源發電系統併聯技術要點」，遂成為國內再生能源儲能裝置併入電網唯一可遵循的技術規定(表 2)。

表 2 台電公司再生能源發電系統併聯技術要點之運轉技術規範<sup>[11]</sup>

項目	運轉技術規範
故障電流	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 發電機組送至台電公司系統之故障電流，不得造成台電公司及其他用戶斷路器之啟斷容量不足，否則應裝置限流電抗器或負擔因此而更換之斷路器費用。與高壓系統併聯者，其發電機組加入後，系統三相短路電流應小於10kA，否則應裝置限流設備或改接其他線路。</li> <li>2. 再生能源發電系統之接地方式應與台電公司之電網配合。所造成之過電壓，不得超過與電力系統連接之設備額定值，且不得干擾區域電力系統接地故障之保護協調。</li> <li>3. 發電設備設置者之發電機組零相序電流應與台電公司系統隔離。</li> </ol>
電壓變動率	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 發電設備併接於台電公司系統造成責任分界點電壓變動率，加計同一變電所或同一變壓器已核准併網電源之影響，不含系統背景值應維持高低各2.5%以內。</li> <li>2. 電壓閃爍限制應依台電公司「電壓閃爍管制要點」規定辦理。</li> </ol>
暫態穩定度	<p>併接161kV以上特高壓系統，其責任分界點所歸屬之變電所匯流排合計發電設備之容量在100,000瓩以上者，不得使台電公司系統之暫態穩定度降至規定值以下(345kV系統三相故障臨界清除時間以4.5週波為標準；161kV系統三相故障臨界清除時間以12週波為標準；若8至12週波應採用兩套全線段快速主保護電驛)；離島地區為獨立供電系統，併接於離島獨立高壓系統者，其系統穩定度應符合該地區之要求個案檢討。</p>
電壓	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 併接22.8kV以下者：其發電設備於責任分界點額定電壓之88%以上110%以下時，應能持續運轉。若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。但總發電設備容量在100瓩以下者，不適用上述電壓跳脫設定值之規定。</li> <li>2. 併接的69kV以上者：其發電設備於責任分界點額定電壓之90%以上110%以下時，應能持續運轉，若責任分界點電壓偏離發電設備運轉能力時，發電設備可跳脫。</li> </ol>
功率因數	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 併接於特高壓系統以上之再生能源發電系統，責任分界點應具備之功率因數調整能力：非風力發電機組之功率因數應其有90%滯後至95%超前運轉能力、風力發電設備於責任分界點功率因數應其有96%滯後至98%超前運轉能力，並配合台電公司季節性負載特性調整設定。</li> <li>2. 併接於高壓系統以下之發電廠，責任分界點運轉原則：不論日間或深夜、例假日、國定假日及春節(除夕至元宵)等期間，得維持在100%。</li> </ol>
諧波管制	<p>諧波污染限制應依台電公司「電力系統諧波管制暫行標準」規定辦理。併接點電壓在3.3kV以下系統，比照3.3kV至22.8kV系統標準辦理。</p>

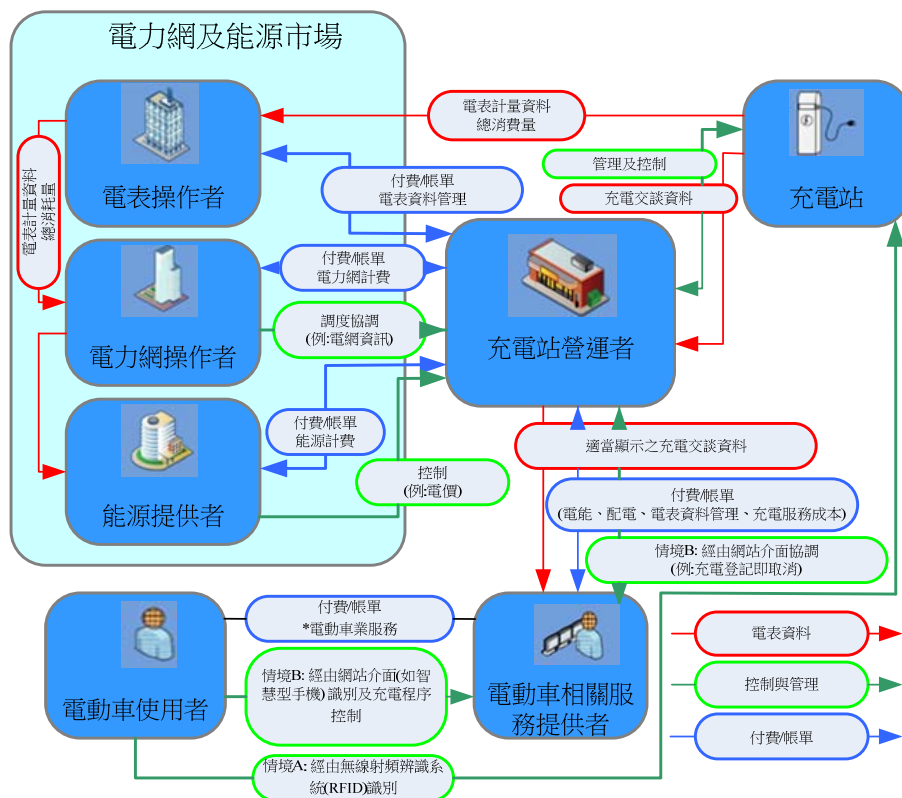
## 肆、V2G 市場服務機制及對於供電業者的影響<sup>[4-5]</sup>

### 一、V2G 市場服務機制

歐盟 (European Commission) 進行一項 SmartV2G project : Smart Vehicle to Grid Interface 計畫,是由 European Union 的 Seventh Framework Programme (FP7) 提供經費執行的。目的在預防未來大量電動車市場化後的充電併網問題,俾使充電負載成為無縫及友善型負載。主要界定六型充電方式,分別是:住宅內充電、商場內充電、旅途中充電、工作場所充電、私人停車充放電、公共停車場充放電等。SmartV2G 計畫於 2013 年 11 月 4 日提出充電站通訊網路的整體架構概念,如圖 1。觀察圖 1,可推測未來的電動車輛 V2G 市場的服務機制包括:用車人和電動車服務商 (E-Mobility Service Provider) 或稱集成商

(Aggregator)之間依約提供的充電和資通訊服務;電動車服務商依約要求充電站控制中心 (Charging Station Control Center, CSCC)提供用車人的充電服務;充電站控制中心可經由遙控方式對充電站下達指令,並由充電站調度員(Charging Station Operator, CSO)執行充電服務;過程中,充電站與充電站控制中心及供電業者所屬電網調度控制中心(Grid Operator)三方間進行必要的資訊交換及指令操作。

觀察圖 1,亦可推測在不同充電型態下的通訊架構,包括:電動車用車人與充電站控制中心或電動車服務商在行車時的通訊、充電站控制中心或電動車服務商與充電站內電動車的通訊、電動車服務商與充電站控制中心的通訊、充電站控制中心或電動車服務商與供電業者或稱能源供應商(Energy Supplier)的通訊、以及充電站控制中心與電網控制中心的通訊等。



\*註: 電動車業服務包括: 電能、配電、電表資料管理、充電服務成本及電動車業務服務費率

圖 1 電動車充電服務市場的參與者與資訊流<sup>[12]</sup>



歐盟 SmartV2G 計畫於 2014 年 1 月 8 日出版智慧充電站(Smart Charging Station, SCS)的相關規範報告，其主要在規範 IEC61851-1 標準內 mode 3 及快速 QDC(mode 4)充電的戶外充電站，並要求充電站應在充電站控制中心(CSCC)核可確認下執行充放電行為，智慧充電站與充電站控制中心之間以無線或乙太網路等方式通訊。充電站控制中心監視及管理的資訊封包格式須符合 ISO/IEC 15118 標準規範。

## 二、V2G 對於供電業者的影響

V2G 會影響到用戶與供電業者(指電力公司)配電饋線的負載，也會影響到供電業者的電力調度(包括：備轉容量、電壓、頻率、無效功率等之調度控制)。由於 V2G 市場服機制類似於 ISO 的，因此電業管制機關必須仿照輸電系統，制定準則以提供電網資訊，包括：設立 OASIS (Open Access Same Time Information System)，公佈過去一日、一週或一個月的電能與輔助服務市場價格資訊。亦即，提供能源服務公司(ESCO)、集成商(Aggregator)等有關市場及電網的資訊，再經由充電站(含智慧型充電機)內的監控系統或充電站控制中心對 V2G 進行管理。在 OASIS、充電站監控系統等資訊與管理條件下，V2G 的運作效率自會提高，影響其運作模式(包括：供應電能與提供輔助服務的模式)。至於供電業者亦須對於各個充電站的運作狀態進行監視，但須予加密，俾保障用戶的個資安全。

## 伍、國內外 V2G 標準發展概況

### 一、國外 V2G 標準發展概況

目前世界先進各國尤其以歐美日為首的國家，均積極推動電動車輛。依據丹麥及以色列相關研究，可預期的在一定數量的電動車輛使用充電時，在未有相當電網管理的情況下，勢必會衝擊到現有電力網路。若有相當的因應措施，則可

使用電安全之衝擊降到最低，因此建構電動車與電網間之通訊介面即為首要工作。此外，各國相關單位亦正展開智慧電網總體規劃，其中在電動車智慧型充/放電部分，考量電動車對電網間的衝擊影響，也將電動車充/放電與電網間之互通性技術標準納入討論中。

因電動車輛與電網間通訊涉及道路車輛、電力設備與通訊技術等。有關道路車輛相關國際標準，目前由國際標準組織 ISO 之道路車輛技術委員會(ISO TC22 road vehicles)進行標準制定或修訂。技術層面涉及車輛上之電子電機設備技術者，由該委員會下轄之分組委員會(ISO TC22/SC03)進行相關標準工作。此外，電動車輛與電網間通訊電氣設備，諸如充電系統及配電設備，則由國際電工委員會之電動道路車輛及電動道路貨車技術委員會(IEC TC69 Electric Road Vehicles and Electric Industrial Trucks)轄下之電源供應及充電器工作組(IEC TC69/WG4 Power Supplies and Chargers)進行標準制修訂。因此，上述國際標準組織 ISO 及國際電工委員會 IEC 兩工作組針對電動車輛與電網間之通訊介面進行制定國際標準之合作，並組成聯合工作組「ISO/TC22/SC03/JWG1 Vehicle to Grid Communication Interface (V2G CI)」。目前該聯合工作組主要討論電動車輛與供電網路間(V2G)通訊介面之系列標準，分別為 ISO 15118-1~ISO 15118-8 共 8 種標準。該系列標準之通訊介面定義依據網路運作方式，共分成 7 個不同的層級，每個層級按照網路傳輸模式進行定義，並依其不同層級有其相對應之測試方式。

目前國際間有關電動車(含充電站)對電網的 V2G 標準仍處於發展階段。各國相關電動車現有的標準，最初由大型汽車產業主導發展，然後再由 SAE、ISO/IEC 等組織採用修訂為國際標準。相關的電動車的標準，亦集中在電動車輛安全、車輛充電裝置規格及車輛與充電設備間的通訊標準，尤其對於電動車(含充電站)對電網的 V2G 標準仍在發展階段，未有國際組織或國家正式公

佈完整之 V2G 標準。

## 二、國內 V2G 標準發展概況

我國電動車輛相關國家標準，大多參考 ISO、IEC 國際標準制定，且國內相關車輛法規大部分亦參考歐盟車輛法規(UNECE)制定。目前國內電動車標準制定範圍涵蓋以下幾項：整車性能、電池、電動機、充電設施、整車環境、整車安全、電網與電動車通訊等。我國電動車標準之法規制定現況與規劃，如圖 2。其中，整車性能相關標準有 3 項(CNS 15512、CNS 15513、CNS15514)、電池相關標準有 9 項(CNS 15369-1、CNS 15369-2、CNS 15369-3、CNS 15391-1、CNS 15391-2、CNS 15515-1、CNS 15515-2、CNS 15515-3、CNS 15533-3)、電動機(含

控制器)相關標準有 6 項(CNS 15454、CNS 15453、CNS 15588-1、CNS 15588-2、CNS 15588-3、CNS 15588-4)、充電設施相關標準有 5 項(CNS 15511-2、CNS 15511-3、CNS 15511-23、CNS 15511-24、CNS 15700-3)、整車環境試驗相關標準有 23 項(CNS 15455、CNS 15481-1、CNS 15481-2、CNS 15481-3、CNS 15481-4、CNS 15481-5、CNS 14498、CNS 14998-1、CNS 14998-2、CNS 14998-3、CNS 14499、CNS 15207-1、CNS 15207-2、CNS 15207-3、CNS 15207-4、CNS 15207-5、CNS 15207-7、CNS 15207-8、CNS 15207-10、CNS 15194-1、CNS 15194-2、CNS 15194-3、CNS 15194-4)、整車安全相關標準 3 項(CNS 15499-1、CNS 15499-2、CNS 15499-3)，共 49 項<sup>[1]</sup>。

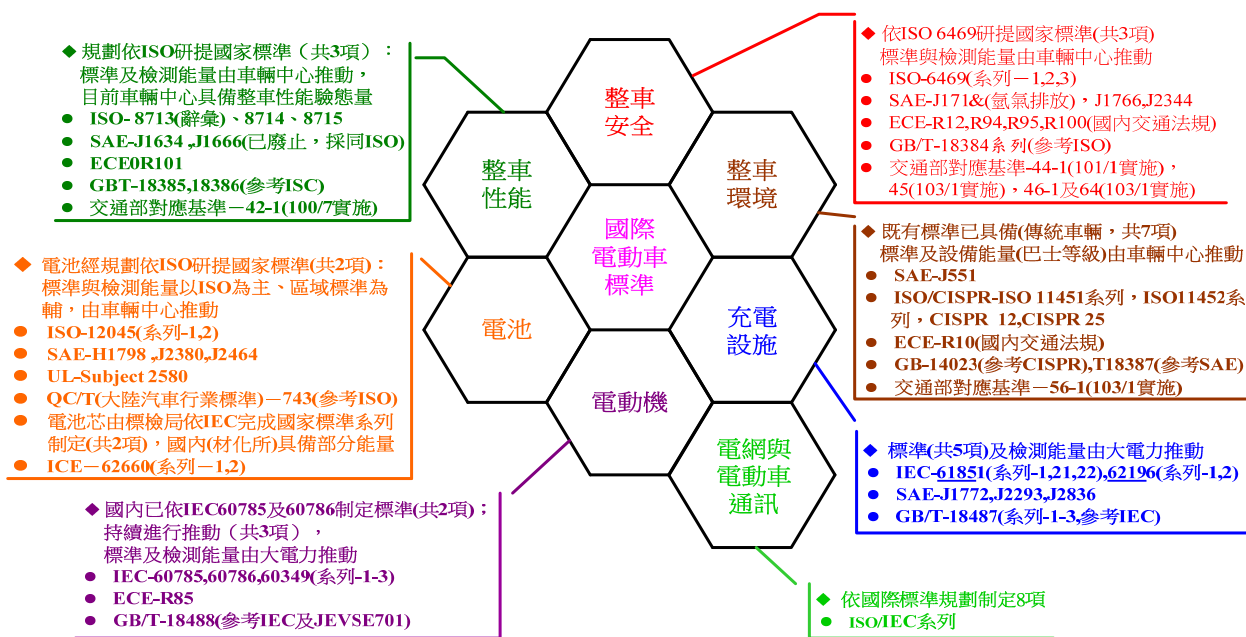


圖 2 我國電動車標準之法規制定現況<sup>[1]</sup>

經濟部標準檢驗局為利於產業統一標準，以工業局委請工業技術研究所訂定之「電動車輛傳導式充電系統實務準則第二部—充電系統介面準則」和「第三部—充電系統安全準則」為基礎，於 2011 年完成 CNS 15511-2「電動車輛傳導式充電系統—第 2 部：介面要求」與 CNS 15511-3

「電動車輛傳導式充電系統—第 3 部：安全要求」等兩項國家標準制定。之後，標準檢驗局再於 2013 年 11 月完成 CNS 15511-23「電動車輛傳導式充電系統—第 23 部：電動車輛直流充電站」、CNS 15511-24「電動車輛傳導式充電系統—第 24 部：電動車輛直流充電站與電動車輛間充電控制

用數位通訊」與 CNS15700-3「電源端插頭、電源端插座及車輛端耦合器－電動車輛傳導式充電－第3部：直流及交/直流綜合型端子與接觸導管類型車輛端耦合器之尺度相容性及互換性要求」等三項國家標準制定。事實上，前述五項屬於電動車輛充電系統之國家標準，乃是調和國際標準 IEC 62196 充電介面系列標準與 IEC 61851 充電交/直流安全系列標準所形成。

### 三、國外電動車輛充電站與電網間之通訊標準

各國相關電動車現有的標準，最初是由大型汽車產業主導發展，然後再由 SAE、ISO/IEC 等組織採用修訂為國際標準。相關的電動車標準，亦集中在電動車輛安全、車輛充電裝置規格及車輛與充電設備間的通訊標準，尤其對於電動車(含

充電站)對電網的通訊標準仍在發展階段。

國際標準組織 ISO 及國際電工組織 IEC 針對電動車輛與電網間之通訊介面進行制定國際標準之合作，並組成聯合工作組「ISO/TC22/SC03/JWG1 Vehicle to Grid Communication Interface (V2G CI)」。目前該聯合工作組主要討論電動車輛與供電網路間通訊介面之系列標準，分別為 ISO 15118-1~ISO 15118-8 共 8 種標準。該系列標準之通訊介面定義依據網路運作方式，共分成 7 個不同的層級，每個層級按照網路傳輸模式進行定義，並依其不同層級有其相對應之測試方式。事實上，ISO/IEC 15118 系列標準與 SAE 相關標準(J2836/1、J2836/2、J2847/1、J2847/2、J2931/1、J2931/4)存在一定的對應關係，如圖 3。

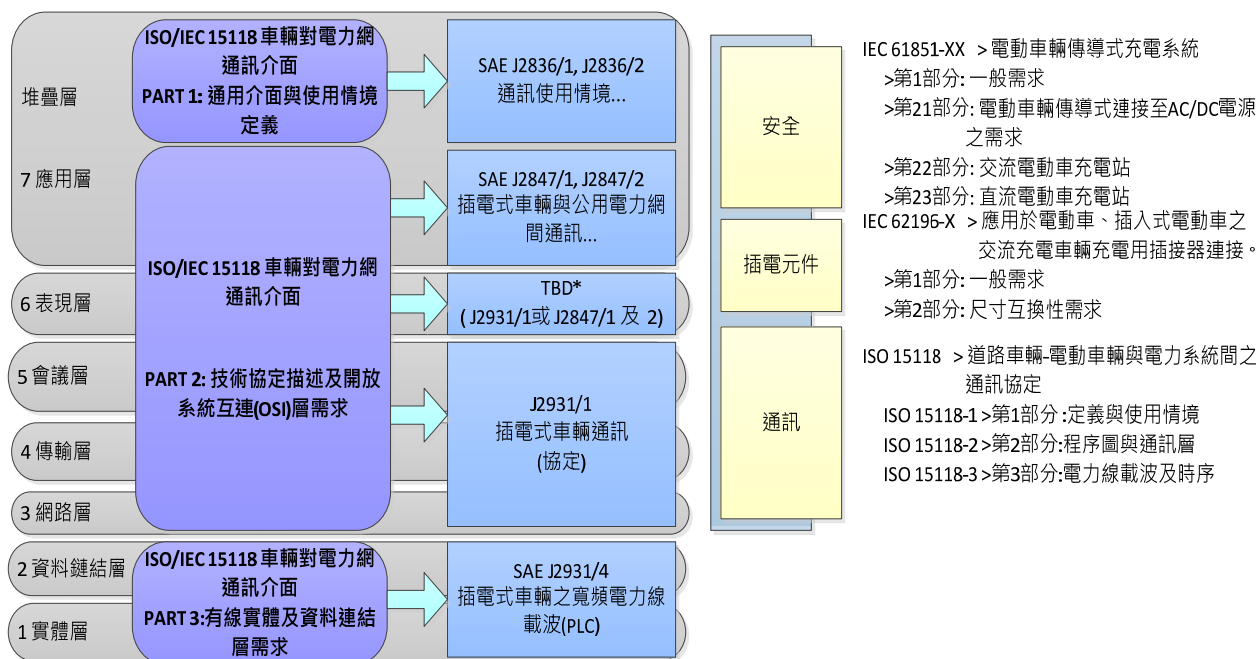


圖 3 ISO/IEC 15118 系列標準與 SAE 相關標準之對應關係<sup>[17-18]</sup>

歐洲多數國家採用 ISO/IEC 15118 作為 V2G 架構下的電動車輛與充電設備間的通訊協定。由於 IEC 制定 IEC 61850 做為智慧型電網變電所自動化設備的通訊標準，故為滿足智慧型電網及電力系統自動化的需求，IEC 61850 逐漸成為國際

間多數國家選用做為充電設備與智慧型電網間的通訊標準。ISO/IEC 15118 與 IEC 61850 應用於電動車輛、充電設備與供電網路之間的示意架構，如圖 4。

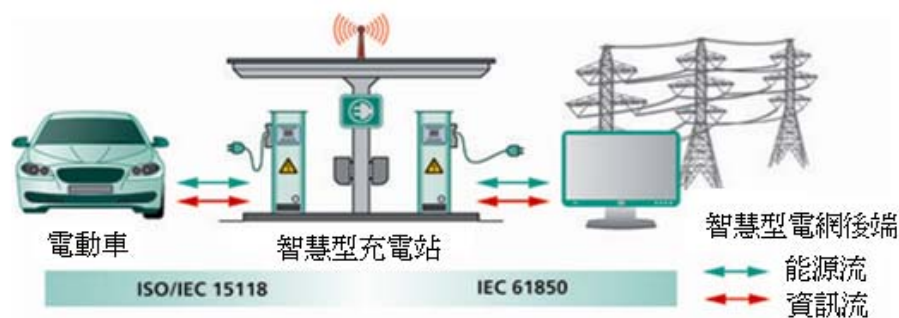


圖 4 電動車輛、充電設備與供電網路之間的通訊標準<sup>[19]</sup>

現行國外電動車輛充電站與電網間之通訊標準，羅列說明如下：

(一) ISO/IEC 15118 系列標準

規範電動汽車(EV)(純電動汽車、插電式混合動力汽車)之通訊控制器(EVCC)與外部供電設備(EVSE)之通訊控制器(SECC)相互間的通訊介面標準，內容包含資訊傳輸規範以及電力線通訊技術(Power-line Communication Technology)等。但不包括電動汽車電池與充電設備間的內部通訊。其目標是提供一個標準，以有效實行電網與電動車輛之間的通訊管理，俾能有效維持電網穩定運轉，並對電動車進行充電管理。其中，ISO/IEC 15118-1：2013 為通用資訊和使用案例定義；ISO/IEC 15118-2：2013 為網路層和應用層通訊協定的要求規範；ISO/IEC 15118-3：2015 為實體層和資料鏈結層的要求規範；ISO/IEC 15118-4 為網路層和應用層通訊協定的一致性測試規範(制定中尚未公佈)；ISO/IEC 15118-5 為實體層和資料鏈結層的一致性測試規範(制定中尚未公佈)。目前歐洲多數國家採用 ISO/IEC 15118 作為 V2G 架構下的電動車輛與充電設備間的通訊協定。

(二) IEC 61850 系列標準

IEC 61850 通訊協定為 IEC 第 57 技術委員會 (電源系統管理和相關信息交換技

術委員會)制定的《變電站通訊網絡和系統》系列標準。IEC 61850 為變電站設備建模與通訊提供了統一的要求，使得各種監控系統的數據能夠得到充分的共享與交換。該標準是變電站自動化系統通訊網絡平台的國際標準，目前也被國際間多數國家規劃引用為電力系統自動化的國家標準。

IEC 61850 規範了變電站自動化系統的通訊網絡和系統，以實現變電站自動化系統中不同廠家設備的相互操作。由於 IEC 61850 滿足繼電保護和測量值採樣的超快響應時間需求，故可作為電力系統監測與變電站現場設備控制的通訊標準，可廣泛適用於繼電器保護、變電站綜合自動化、配電自動化、電力品質、分散式電源、變電站、調度控制中心等電力部門的運作。

電動車(含充電站)對電網的通訊標準發展過程中，若將電動車及充電設施視為分散式可變能源(Distributed Variable Energy Resources, DVER's)，可採用 IEC 61850-7-420 通訊標準(Communications Standard for Distributed Energy Resources, DER)將電動車視為智慧型電網中的分散式虛擬電廠(Distributed Virtual Power Plant)，進行通訊控制及調度管理。

IEC TC57 在 2012 年 6 月 1 日發布 IEC

TR61850-90-8 草案(通訊網路和電力公用事業自動化系統 - 90-8 部分：IEC 61850 以電動車輛為對象之通訊模型)。IEC 61850-90-8 描述如何將電動車輛與電網互連的通訊介面標準化。IEC 61850-90-8 提供必要的背景資料，並提出以電動車輛為對象的模型，以建立將插電式電動車輛視為電網中的分散式電源，並按照 IEC61850-7-420 進行控制及自動化操作。由於 IEC61850 和 IEC61850-7-420 的基本通訊模式涵蓋電動車輛領域的需求，而且 IEC 61850-90-8 主要是提供電動車輛與電網間通訊的互通性標準，可將電動車輛及充電設備做為智慧型電力網控制系統中新的邏輯節點和數據對象進行監控。電動車

輛及充電站使用 IEC 61850-90-8 與 IEC61850-7-420 通訊標準，可提供充電站的設備狀態監視、充電程序控制、開關設備控制及電力輔助服務調度等功能。故未來 IEC 61850-90-8 及 IEC61850-7-420 的互連的通訊架構，被視為電動車輛及充電站與電力系統連接的主要通訊標準，亦為國際間 V2G 通訊標準發展的主流，如圖 5。

(三) SAE 系列標準(表 3)

由美國汽車工程師學會所制定電動車輛與電網間的通訊標準，包括：SAE J2836 系列、SAE J2847 系列和 SAE J2931 系列(正在制定)；電動車輛與電網間的電能傳輸標準，包括：SAE J2293 系列、SAE J2758 系列(正在制定)等。

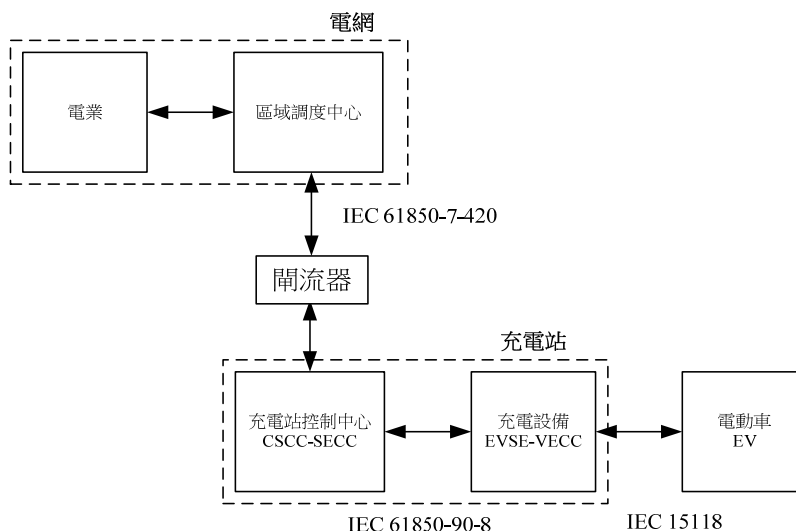


圖 5 IEC 61850-90-8 與 IEC61850-7-420 之 V2G 通訊架構

表 3 SAE J2836 系列標準

標準編號	標準名稱	標準目的	狀態
SAE J2836-1	插電式電動車輛與電網間通訊之案例	插電式電動車輛和電網間能量傳輸和其他應用通訊的案例	2010.4
SAE J2836-2	插電式電動車輛與供電設備間通訊之案例	建立插電式電動車輛和供電設備間能量轉移和其他應用通訊的案例	2011.9
SAE J2836-3	插電式電動車輛與電網間逆送電力之通訊案例	建立插電式電動車輛與電網、屋內線路、微電網間逆送電力通訊之案例	2013.1
SAE J2836-4	插電式電動車輛通訊之診斷案例	建立插電式電動車輛與供電設備間通訊之診斷案例	制定中
SAE J2836-5	插電式電動車輛與用戶間通訊之案例	建立插電式電動車輛和用戶間通訊之案例	2015.5
SAE J2836-6	電動車輛無線充電通訊之案例	建立插電式電動車輛無線充電通訊之案例	2013.5



#### 四、國內電動車輛充電站與電網間之通訊標準

我國目前尚未制定電動車輛充電站與電網間 V2G 之通訊標準，後續經濟部標準檢驗局將持續掌握 ISO/IEC 15118 系列標準、IEC 61850 系列標準的制定進度，依此標準調和為 CNS 國家標準。

#### 陸、研擬 V2G 與電業/充電站調度中心等之間的互通性產業標準<sup>[7-19]</sup>

本研究參考國外現行所制定電動車輛與電網間 V2G 的相關標準，研擬 V2G 與電業/充電站調度中心等之間的互通性產業標準草案，如表

4。所研擬的標準係遵照標準檢驗局制定標準的格式規定，涵蓋內容包括：前言、適用範圍、引用標準、用語及定義、一般要求、特定要求、應用案例、電動車輛充電站併網裝置之功能需求、電動車輛充電站與交流供電網之交換資訊、電動車輛充電站與交流供電網間之通訊等，目前該標準仍在草擬階段，後續將持續進行修訂。其可適用於電業所屬電力網路與電力調度中心、電動車輛充電站(或充電裝置)營運管理業者所屬電能管理裝置與併網裝置(含電力、資訊、通訊等設備)、V2G 服務供應業者所屬充電站調度中心等相互之間有關電能管理裝置(含電力、資訊、通訊等設備)的互通性。

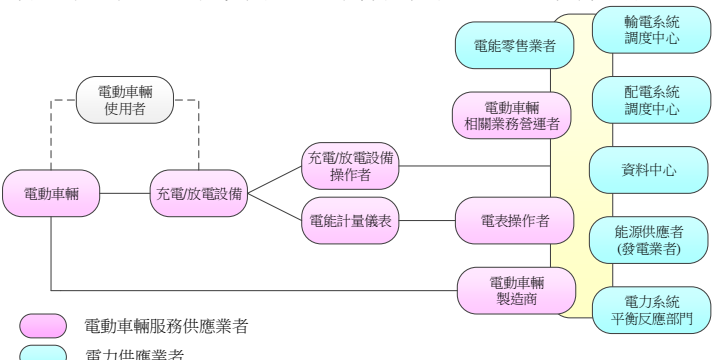
表 4 電動車(含充電站)與電業/充電站調度中心等之間的互通性標準(草案)

標準項目	標準內容(草案)	
前言	本標準參考採用國際電子電機委員會(標準 IEC 61850-7-420、IEC/TR 61850-90-7、ISO/IEC 15118：2001(電動汽車與電力網路相互間之通訊規範)、美國 IEEE 1547、OpenADR、SAE J2953、SAE J2836、SAE J2931、SEP、PLC 等標準，並根據我國近十年電動車輛充電技術的研究、產品開發及充電機試驗、運行等方面的成果和經驗，修改了國外標準中一些不符合我國實際情況的內容。	
1.適用範圍	本標準適用於電業所屬電力網路與電力調度中心、電動車輛充電站(或充電裝置)營運管理業者所屬電能管理裝置與併網裝置(含電力、資訊、通訊等設備)、V2G 服務供應業者所屬充電站調度中心等相互之間有關電能管理裝置(含電力、資訊、通訊等設備)之互通性標準。	
2.引用標準	下列標準因本標準所引用，成為本標準之一部分。有加註年分者，適用該年分之版次，不適用於其後之修訂版(包括補充增修)。無加註年分者，適用該最新版(包括補充增修)。	
	IEC 61850-7-420：2009	Communication networks and systems for power utility automation Part 7-420:Basic communication structure - Distributed energy resources logical nodes
	IEC/TR 61850-90-7:2013	Communication networks and systems for power utility automation Part 90-7:Object models for power converters in distributed energy resources (DER) systems
	IEEE Std 1547：2003	IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
	IEEE Std 1547.1：2005	IEEE Standard Conformance Test Procedures for Equipment Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
	IEEE Std 1547.2：2008	IEEE Application Guide for IEEE Std 1547, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems
	IEEE Std 1547.3：2007	IEEE Guide for Monitoring, Information Exchange, and Control of Distributed Resources Interconnected with Electric Power Systems
	IEEE Std 1547.4：2011	IEEE Guide for Design, Operation, and Integration of Distributed Resource Island Systems with Electric Power Systems
	IEEE Std 1547.6：2011	IEEE Recommended Practice for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems Distribution Secondary Networks
IEEE Std 1547.7：2013	IEEE Guide for Conducting Distribution Impact Studies for Distributed Resource Interconnection	

標準項目	標準內容(草案)																																							
	ISO/IEC 15118-1 : 2013	Road vehicles – Vehicle to grid communication interface Part 1:General information and use-case definition																																						
	ISO/IEC 15118-2 : 2014	Road vehicles – Vehicle to grid communication interface Part 2:Network and application protocol requirements																																						
	ISO/IEC 15118-3 : 2015	Road vehicles – Vehicle to grid communication interface Part 3:Physical and data link layer requirements																																						
	SAE J2836-1 : 2010	Use Cases for Communication Between Plug-in Vehicles and the Utility Grid																																						
	SAE J2836-3 : 2013	Use Cases for Plug-in Vehicle Communication as a Distributed Energy Resource																																						
	SAE J2847-3 : 2013	Communication for Plug-in Vehicles as a Distributed Energy Resource																																						
3.用語及定義	3.1 用語																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="359 743 494 779">簡稱</th> <th data-bbox="494 743 1406 779">描述</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="359 779 494 815">DLMS</td> <td data-bbox="494 779 1406 815">設備語言資訊規範 Device Language Message Specification</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 815 494 851">COSEM</td> <td data-bbox="494 815 1406 851">電能計量配套技術規範 Companion Specification Energy Metering</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 851 494 887">EM</td> <td data-bbox="494 851 1406 887">電表 Electricity Meter</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 887 494 922">EMS</td> <td data-bbox="494 887 1406 922">電能管理系統 Energy Management System</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 922 494 958">ESCI</td> <td data-bbox="494 922 1406 958">電能服務通訊介面 Energy Services Communication Interface</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 958 494 994">ESI</td> <td data-bbox="494 958 1406 994">電力服務介面 Electric Service Interface</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 994 494 1030">EV</td> <td data-bbox="494 994 1406 1030">電動車輛 Electric Vehicle</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1030 494 1066">EVSE</td> <td data-bbox="494 1030 1406 1066">電動車輛供電裝置 Electric Vehicle Supply Equipment</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1066 494 1102">G3-V2G</td> <td data-bbox="494 1066 1406 1102">應用於V2G之G3 PLC技術 G3 applied in V2G</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1102 494 1137">HPGP</td> <td data-bbox="494 1102 1406 1137">家用電力線Green PHY網路標準 HomePlug Green PHY PLC standard</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1137 494 1173">PEV</td> <td data-bbox="494 1137 1406 1173">充電式電動車輛 Plug-in Electric Vehicle</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1173 494 1209">PHEV</td> <td data-bbox="494 1173 1406 1209">充電式混合動力電動汽車輛 Plug-in Hybrid Electric Vehicle</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1209 494 1245">PLC</td> <td data-bbox="494 1209 1406 1245">電力線通訊技術 Power Line Communication technology</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1245 494 1281">SECC</td> <td data-bbox="494 1245 1406 1281">供電設備通訊控制器 Supply Equipment Communication Controller</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1281 494 1317">SCTP</td> <td data-bbox="494 1281 1406 1317">串流控制傳輸協定 Stream Control Transmission Protocol</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1317 494 1352">UPA</td> <td data-bbox="494 1317 1406 1352">通用電力線聯盟 Universal Powerline Alliance</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1352 494 1388">V2G</td> <td data-bbox="494 1352 1406 1388">車輛電能回放至電網 Vehicle to Grid</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1388 494 1424">VIN</td> <td data-bbox="494 1388 1406 1424">車輛識別碼 Vehicle Identification Number</td> </tr> </tbody> </table>	簡稱	描述	DLMS	設備語言資訊規範 Device Language Message Specification	COSEM	電能計量配套技術規範 Companion Specification Energy Metering	EM	電表 Electricity Meter	EMS	電能管理系統 Energy Management System	ESCI	電能服務通訊介面 Energy Services Communication Interface	ESI	電力服務介面 Electric Service Interface	EV	電動車輛 Electric Vehicle	EVSE	電動車輛供電裝置 Electric Vehicle Supply Equipment	G3-V2G	應用於V2G之G3 PLC技術 G3 applied in V2G	HPGP	家用電力線Green PHY網路標準 HomePlug Green PHY PLC standard	PEV	充電式電動車輛 Plug-in Electric Vehicle	PHEV	充電式混合動力電動汽車輛 Plug-in Hybrid Electric Vehicle	PLC	電力線通訊技術 Power Line Communication technology	SECC	供電設備通訊控制器 Supply Equipment Communication Controller	SCTP	串流控制傳輸協定 Stream Control Transmission Protocol	UPA	通用電力線聯盟 Universal Powerline Alliance	V2G	車輛電能回放至電網 Vehicle to Grid	VIN	車輛識別碼 Vehicle Identification Number	
	簡稱	描述																																						
	DLMS	設備語言資訊規範 Device Language Message Specification																																						
	COSEM	電能計量配套技術規範 Companion Specification Energy Metering																																						
	EM	電表 Electricity Meter																																						
	EMS	電能管理系統 Energy Management System																																						
	ESCI	電能服務通訊介面 Energy Services Communication Interface																																						
	ESI	電力服務介面 Electric Service Interface																																						
	EV	電動車輛 Electric Vehicle																																						
	EVSE	電動車輛供電裝置 Electric Vehicle Supply Equipment																																						
	G3-V2G	應用於V2G之G3 PLC技術 G3 applied in V2G																																						
	HPGP	家用電力線Green PHY網路標準 HomePlug Green PHY PLC standard																																						
	PEV	充電式電動車輛 Plug-in Electric Vehicle																																						
	PHEV	充電式混合動力電動汽車輛 Plug-in Hybrid Electric Vehicle																																						
	PLC	電力線通訊技術 Power Line Communication technology																																						
	SECC	供電設備通訊控制器 Supply Equipment Communication Controller																																						
	SCTP	串流控制傳輸協定 Stream Control Transmission Protocol																																						
	UPA	通用電力線聯盟 Universal Powerline Alliance																																						
	V2G	車輛電能回放至電網 Vehicle to Grid																																						
VIN	車輛識別碼 Vehicle Identification Number																																							
3.2 定義	<table border="1"> <tbody> <tr> <td data-bbox="359 1467 582 1550">V2G 併網裝置</td> <td data-bbox="582 1467 1406 1550">電動車輛充電站併入交流供電網對電網其他負載進行放電之相關設備(含電能管理設備、電力設備、資訊設備、通訊設備等)。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1550 582 1632">應用層</td> <td data-bbox="582 1550 1406 1632">提供使用者(i.e., 網路應用程式)網路的各種資源/服務,使其能利用系統之連結功能,達到和其他應用程式交換資料的目的。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1632 582 1715">表現層</td> <td data-bbox="582 1632 1406 1715">提出一套標準的程序,讓資料轉成一致的格式,以方便在網路上傳送。另一端的傳輸層再將其轉譯回應用程式所接受的樣子。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1715 582 1751">會議層</td> <td data-bbox="582 1715 1406 1751">管理應用程式間的協議過程。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1751 582 1787">傳輸層</td> <td data-bbox="582 1751 1406 1787">提供端對端(end-to-end) (process-to process)的錯誤偵測和更正。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1787 582 1870">網路層</td> <td data-bbox="582 1787 1406 1870">提供發送端(source) 與接收端(destination) 間的連線與封包(packet)資料傳輸。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1870 582 1953">資料鏈結層</td> <td data-bbox="582 1870 1406 1953">提供點對點(point-to-point)可靠的連線,提供上層error-free 傳輸功能。提供可靠的(reliable)底層實體傳輸服務給上層之通訊協定使用,使得上層通訊協定不需瞭解實體層的傳輸媒介。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="359 1953 582 2038">實體層</td> <td data-bbox="582 1953 1406 2038">定義網路媒介的實體特性定義載送資料硬體的特性:數位訊號電壓準位(Representation of Bits in Signal)、介面接腳數目與位置、最大傳輸距離、實體資料傳輸速率(bps)、編碼及解碼、訊號加擾及解擾(Scrambling/Descrambling)。</td> </tr> </tbody> </table>		V2G 併網裝置	電動車輛充電站併入交流供電網對電網其他負載進行放電之相關設備(含電能管理設備、電力設備、資訊設備、通訊設備等)。	應用層	提供使用者(i.e., 網路應用程式)網路的各種資源/服務,使其能利用系統之連結功能,達到和其他應用程式交換資料的目的。	表現層	提出一套標準的程序,讓資料轉成一致的格式,以方便在網路上傳送。另一端的傳輸層再將其轉譯回應用程式所接受的樣子。	會議層	管理應用程式間的協議過程。	傳輸層	提供端對端(end-to-end) (process-to process)的錯誤偵測和更正。	網路層	提供發送端(source) 與接收端(destination) 間的連線與封包(packet)資料傳輸。	資料鏈結層	提供點對點(point-to-point)可靠的連線,提供上層error-free 傳輸功能。提供可靠的(reliable)底層實體傳輸服務給上層之通訊協定使用,使得上層通訊協定不需瞭解實體層的傳輸媒介。	實體層	定義網路媒介的實體特性定義載送資料硬體的特性:數位訊號電壓準位(Representation of Bits in Signal)、介面接腳數目與位置、最大傳輸距離、實體資料傳輸速率(bps)、編碼及解碼、訊號加擾及解擾(Scrambling/Descrambling)。																						
V2G 併網裝置	電動車輛充電站併入交流供電網對電網其他負載進行放電之相關設備(含電能管理設備、電力設備、資訊設備、通訊設備等)。																																							
應用層	提供使用者(i.e., 網路應用程式)網路的各種資源/服務,使其能利用系統之連結功能,達到和其他應用程式交換資料的目的。																																							
表現層	提出一套標準的程序,讓資料轉成一致的格式,以方便在網路上傳送。另一端的傳輸層再將其轉譯回應用程式所接受的樣子。																																							
會議層	管理應用程式間的協議過程。																																							
傳輸層	提供端對端(end-to-end) (process-to process)的錯誤偵測和更正。																																							
網路層	提供發送端(source) 與接收端(destination) 間的連線與封包(packet)資料傳輸。																																							
資料鏈結層	提供點對點(point-to-point)可靠的連線,提供上層error-free 傳輸功能。提供可靠的(reliable)底層實體傳輸服務給上層之通訊協定使用,使得上層通訊協定不需瞭解實體層的傳輸媒介。																																							
實體層	定義網路媒介的實體特性定義載送資料硬體的特性:數位訊號電壓準位(Representation of Bits in Signal)、介面接腳數目與位置、最大傳輸距離、實體資料傳輸速率(bps)、編碼及解碼、訊號加擾及解擾(Scrambling/Descrambling)。																																							

標準項目	標準內容(草案)
4.一般要求	<p>4.1 標準認證要求</p> <p>V2G 併網裝置(含電能管理設備、電力設備、資訊設備、通訊設備等)應具備符合國家標準(CNS)相關標準認證通過之證明文件資料(安全認證和產品合格證)，並提供型式試驗、例行試驗和現場試驗所需之技術文件資料。</p>
4.一般要求	<p>4.2 出廠檢驗</p> <p>V2G 併網裝置出廠前，應提供詳細的出廠試驗報告與說明，包括但不限於：(a)併網裝置關鍵設備的產品合格證；(b)併網裝置關鍵設備的生產許可證；(c)安全認證；(d)併網裝置型式試驗報告；(e)併網裝置相關各單元功能試驗報告。</p> <p>4.3 現場檢驗</p> <p>V2G 併網裝置在商業運轉前，應提供詳細的現場試驗報告與說明，包括但不限於：(a)確認 V2G 併網裝置及其安裝遵循標準要求；(b)記錄 V2G 併網裝置的參數及功能；(c)安全相關查驗，包括：根據標準的要求對 V2G 併網裝置接地措施進行查驗、對 V2G 併網裝置隔離設備的可操作性進行查驗；(d)驗證現場安裝的設備規格和接線。</p> <p>4.4 設備及人員安全要求</p> <p>V2G 併網裝置(含電能管理設備、電力設備、資訊設備、通訊設備等)應設置明顯的安全警示標識。V2G 併網裝置必須具備監測與保護功能，其與配電網之間應安裝一個易於操作、可閉鎖、適當啟斷容量之電路啟斷設備。當電動車輛充電站或配電網發生異常或故障時，可確保電力設施、檢修維護人員和公眾之安全。</p> <p>4.5 V2G服務供應業之義務</p> <p>負責 V2G 營運管理之服務供應業者應對相關設備提供 24 小時的維護保障，進行電力預測、故障或異常資訊之蒐集和報送、售電計畫等，並定期向電網調度機構之電業上報。</p>
5.特定要求	<p>5.1 併網要求</p> <p>5.1.1 電力容量要求</p> <p>V2G 電力容量以不超過上一級變壓器供電區域內最高負載(有效功率)的 25%為原則。</p> <p>5.1.2 併接電壓</p> <p>V2G 電力容量大於 200kW 者，採用 11kV 以上電壓等級併入配電網路；V2G 電力容量不超過 200kW 者，採用 380V 電壓等級併入配電網路；V2G 電力容量不超過 15kW 者，採用 220V 電壓等級併入配電網路。</p> <p>5.1.3 併網裝置</p> <p>採用 11kV 以上電壓等級併入配電網路之 V2G 併網裝置應具有遠端監控的功能，以及具有一定的電壓電流衝擊耐受能力。當 V2G 併網裝置主要電源失效後，其備用電源可確保各項自動化設備、通訊設備與資訊設備能正常運作至少 2 小時。</p> <p>5.1.4 有效功率控制要求</p> <p>併接電壓為 11kV 以上電壓等級者，應具有有效功率調節能力，並能根據電網頻率、電網調度機構指令等信號調節 V2G 併網裝置的有效功率輸出，確保 V2G 併網裝置最大輸出功率及功率變動率不超過電網調度機構的給定值，以確保電網故障或特殊營運方式時電力系統的穩定。</p> <p>5.1.5 無效功率控制要求</p> <p>併接電壓為 11kV 以上電壓等級者，應具有功率因數 0.95(超前)~0.95(滯後)範圍內連續調節能力。</p> <p>5.1.6 接地方式</p>

標準項目	標準內容(草案)
	<p>V2G 併網裝置的接地方式不應導致連接至所在區域的配電網超出相關裝置允許電壓，同時不干擾區域故障保護裝置的正常運作。</p> <p>5.1.7 短路電流 考慮 V2G 併網裝置提供的短路電流後，短路電流總和不允許超過配電網共同併接點允許的短路電流。</p> <p>5.2 電力品質要求</p> <p>5.2.1 評估分析 電動車輛充電站併入交流供電網之前，應依電網調度機構之規定進行電力品質衝擊影響評估分析，並提供所需的電源容量、併網方式、變流器型號等相關技術參數。</p> <p>5.2.2 諧波失真 V2G 併網裝置連接至配電網共同併接點的諧波電流分量(均方根值)應依供電業者相關技術規定(例如台電公司再生能源發電系統併聯技術要點)之要求辦理。</p> <p>5.2.3 電壓偏差 V2G 併網裝置連接至配電網共同併接點的電壓應依供電業者相關技術規定之要求辦理。</p> <p>5.2.4 電壓變動、電壓驟降、電壓驟升與電壓閃爍 V2G 併網裝置連接至配電網共同併接點的電壓變動、電壓驟降、電壓驟升與電壓閃爍應依供電業者相關技術規定之要求辦理。</p> <p>5.2.5 電壓三相不平衡度 V2G 併網裝置連接至配電網共同併接點所引起的三相電壓不平衡度和負序電壓不平衡度應依供電業者相關技術規定之要求辦理。</p> <p>5.2.6 直流分量 V2G 併網裝置連接至配電網共同併接點所引起的直流分量應依供電業者相關技術規定之要求辦理。</p> <p>5.3 電磁相容 V2G 併網裝置應具有適當抗電磁干擾的能力，產生的電磁干擾並應符合國際主要標準之規定。</p> <p>5.4 資訊與通訊 採用 11kV 以上電壓等級併入配電網路之 V2G 併網裝置應具有與電網調度機構和充電站調度中心進行雙向資料通訊的能力，並能向電網調度機構和充電站調度中心提供所需之狀態信號。</p> <p>5.5 電能計量 電動車輛充電站(或充電裝置)營運管理業者與供電業者應協商設置明確的電量計量點。</p> <p>5.6 異常情況處理</p> <p>5.6.1 頻率異常 當併接點頻率超過供電業者所規定之範圍時，V2G 併網裝置應停止向配電網路送電。</p> <p>5.6.2 電壓異常 當併接點任何一相電壓超過供電業者所規定之範圍時，V2G 併網裝置應停止向配電網路送電。</p> <p>5.6.3 孤島防護 V2G 併網裝置應與配電網路側之保護裝置相互協調。</p> <p>5.6.4 恢復併網</p>

標準項目	標準內容(草案)
	<p>V2G 併網裝置因受到外部干擾因素而與配電網路解聯時，當區域配電網路之頻率及電壓恢復至供電業者所允許連續運轉範圍且經過一定延時時間後，V2G 併網裝置才可重新併入配電網路。</p>
<p>6. 電動車輛充電站併網裝置之功能需求</p>	<p>6.1 基本功能                      電動車輛充電站 V2G 併網裝置應具備在電動車輛充電站(或充電/放電裝置)營運管理業者、供電業者、集成商或 V2G 服務供應業者等三方跨服務平台相關設備之間進行依所協議規定之資料蒐集、資料匯整、監視控制、保護與併網控制、資通訊等基本功能。</p> <p>6.2 附加功能</p> <p>6.2.1 有效功率控制                      具備有效功率控制功能，當需要對電動車輛充電站儲能系統進行有效功率控制時，系統可採用適當的有效功率控制策略及下達有效功率控制指令。</p> <p>6.2.2 遠端孤島檢測                      具備遠端快速檢測孤島且監測到孤島後立即與配電網路解聯的功能。當配電網因非計畫事故發生孤島現象時，能即時探測分析 V2G 併網裝置是否處於孤島狀態，並採取適當的孤島控制策略。</p> <p>6.2.3 調度及協調控制                      具備多個電動車輛充電站儲能系統之功率分配與協調控制、多個電動車輛充電站儲能系統與外部電網的協調控制等功能。</p> <p>6.2.4 網頁發佈及展示                      具備電動車輛充電站儲能系統相關資料的發佈資訊、瀏覽、下載等網頁發佈及展示功能。發佈資訊內容包括：配電網路資訊、即時示警資訊、歷史示警資訊、報表、畫面等；瀏覽內容包括：許可權限範圍內的報表、畫面、圖形；下載內容包括：存取權限範圍內的資料、報表。</p>
<p>7. 電動車輛充電站與交流供電網之資訊交換</p>	<p>7.1 概說                      電動車輛充電站與交流供電網之交換資訊涵蓋電動車輛充電站(或充電/放電裝置)營運管理業者、供電業者、集成商或 V2G 服務供應業者三方相關設備之架構，如圖 7.1。其中，與充電站(或充電/放電裝置)端相關者包括：電動車輛使用者、電動車輛、充電/放電設備、充電/放電設備操作者、電量計、電動車輛操作者及電動車輛製造商；與供電業者及 V2G 服務供應業者端相關者包括：電表操作者、電能零售業者、資料中心、電力系統平衡反應部門、配電系統調度中心、輸電系統調度中心及供電業者。</p> <p>電動車輛充電站(或充電/放電裝置)營運管理業者、供電業者、V2G 服務供應業者三方各相關設備及參與者經網路交換必要資訊，以確保完成充電/放電程序及供電安全。</p>  <p style="text-align: center;">圖 7.1 V2G 相關設備及服務供應業者<sup>[20]</sup></p>



標準項目	標準內容(草案)
------	----------

7.2 網路架構與規格

7.2.1 網路架構

電動車輛充電/放電設備與電力網路之資訊網路架構，包括：電動車輛、充電/放電設備、電能管理系統、電業、集成商或 V2G 服務供應業者等，如圖 7.2。在電動車輛與充電/放電設備採用電力線通訊，在用戶端與電能管理系統間可採用 SEP、PLC、WiFi 或 Ethernet，電能管理系統經閘道器與網際網路連接至電業或 V2G 服務供應業者的伺服器。不同設備之間的資訊內容，經轉換後可以互通交換資訊。

電業服務  
電業端電能服務介面  
電力線載波  
WiFi  
乙太網路...  
開放與否

網際網路

某些電能管理系統包含連接至電業端的伺服器

某些電能管理系統包含連接至V2G服務供應業者的伺服器

V2G服務供應業者註冊服務

用戶端電能服務介面

EMS  
電能管理系統

閘道器

電動車輛充電/放電設備

電力線載波 (SAE標準)

電動車輛

電動車輛

電動車輛

電能服務介面(ESI)到電能管理系統(EMS)可以經由以下網路:  
(1) 電業端的網路  
(2) 用戶端的網路

註: SAE-美國汽車工程師學會

圖 7.2 電動車輛充電站對電網之資訊網路架構<sup>[21]</sup>

電動車輛與充電/放電供電設備之資訊流架構，如圖 7.3 所示。

7. 電動車輛充電站與交流供電網之資訊交換

電動車輛通訊控制器

電動車輛充電設備通訊控制器

設定

收費  
財務化

交流特定訊息

電力傳遞  
充電狀態  
計量收據  
電力傳輸

直流特定訊息

電纜檢查  
充電前確認  
電力傳輸  
電流需量  
電力傳輸  
焊接測試

插充式  
充電接觸器關斷  
充電接觸器導通

圖 7.3 電動車輛與充電/放電供電設備之資訊流架構<sup>[22]</sup>

標準項目	標準內容(草案)														
	<p>7.2.2 網路通訊規格 網路通訊協定採用 IPv6 (Internet Protocol version 6)規格。</p> <p>7.3 網路設備功能要求</p> <p>7.3.1 網路設備互通性 V2G 併網裝置之網路設備，應保持網路互通的狀態，以確保充電過程中資料的正確交換及存取。 V2G 併網裝置之網路相關設備規格，應符合操作及控制需求，可相容多種國際主要通訊標準。 V2G 併網裝置應具有區域內電動車輛充電站監控終端與電網調度機構監控終端和充電站調度中心監控終端之間的資料匯整、處理與傳送功能，可相容多種國際主要通訊標準。</p> <p>7.3.2 資訊交換 電動車輛充電站應具備提供表 7.1 之資訊與交流供電網之電網調度機構或充電站調度中心進行交換、認證的功能。</p> <p style="text-align: center;">表 7.1 電動車輛充電站與交流供電網之資訊交換內容</p> <table border="1" data-bbox="384 745 1398 1274"> <thead> <tr> <th data-bbox="384 745 676 779">資訊項目</th> <th data-bbox="676 745 1398 779">資訊內容</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="384 779 676 853">身份識別資訊</td> <td data-bbox="676 779 1398 853">車輛識別碼、用戶識別碼、終端量測裝置識別碼、通訊識別碼、撤銷識別碼、供電裝置識別碼、場址識別碼</td> </tr> <tr> <td data-bbox="384 853 676 958">計時資訊</td> <td data-bbox="676 853 1398 958">充/放電開始時間、充/放電結束時間、預定充/放電期間、充/放電所需時間、充/放電結束剩餘時間、實際充/放電時間、充放電方案</td> </tr> <tr> <td data-bbox="384 958 676 1025">電能需求資訊</td> <td data-bbox="676 958 1398 1025">電能需量、電力需量、電能可用量、電力可用量、電力排程、充/放電電量</td> </tr> <tr> <td data-bbox="384 1025 676 1099">計價資訊</td> <td data-bbox="676 1025 1398 1099">排程價格請求、發布價格、時段之定義、時段之費率、價格資訊</td> </tr> <tr> <td data-bbox="384 1099 676 1173">負載控制資訊</td> <td data-bbox="676 1099 1398 1173">負載控制、取消負載控制、事件狀態請求通報、事件狀態回應通報、排程事件請求</td> </tr> <tr> <td data-bbox="384 1173 676 1274">車輛資訊及狀態資訊</td> <td data-bbox="676 1173 1398 1274">併網時間、充/放電起始之電池荷電狀態、充/放電結束之電池荷電狀態、即時之電池荷電狀態、車輛型式、可用之電池電能</td> </tr> </tbody> </table>	資訊項目	資訊內容	身份識別資訊	車輛識別碼、用戶識別碼、終端量測裝置識別碼、通訊識別碼、撤銷識別碼、供電裝置識別碼、場址識別碼	計時資訊	充/放電開始時間、充/放電結束時間、預定充/放電期間、充/放電所需時間、充/放電結束剩餘時間、實際充/放電時間、充放電方案	電能需求資訊	電能需量、電力需量、電能可用量、電力可用量、電力排程、充/放電電量	計價資訊	排程價格請求、發布價格、時段之定義、時段之費率、價格資訊	負載控制資訊	負載控制、取消負載控制、事件狀態請求通報、事件狀態回應通報、排程事件請求	車輛資訊及狀態資訊	併網時間、充/放電起始之電池荷電狀態、充/放電結束之電池荷電狀態、即時之電池荷電狀態、車輛型式、可用之電池電能
資訊項目	資訊內容														
身份識別資訊	車輛識別碼、用戶識別碼、終端量測裝置識別碼、通訊識別碼、撤銷識別碼、供電裝置識別碼、場址識別碼														
計時資訊	充/放電開始時間、充/放電結束時間、預定充/放電期間、充/放電所需時間、充/放電結束剩餘時間、實際充/放電時間、充放電方案														
電能需求資訊	電能需量、電力需量、電能可用量、電力可用量、電力排程、充/放電電量														
計價資訊	排程價格請求、發布價格、時段之定義、時段之費率、價格資訊														
負載控制資訊	負載控制、取消負載控制、事件狀態請求通報、事件狀態回應通報、排程事件請求														
車輛資訊及狀態資訊	併網時間、充/放電起始之電池荷電狀態、充/放電結束之電池荷電狀態、即時之電池荷電狀態、車輛型式、可用之電池電能														
8.電動車輛充電站與交流供電網間之通訊	<p>8.1 概說 電動車輛充電站因涉及充電電力供需、充電過程的驗證、狀態確認、操作及付費，甚而配合電力系統輔助服務調度及輔助服務費率回售電力，故須搭配適當的通訊系統，以滿足相關的需求。通訊方式主要包括光纖專用網路、電力線載波、無線專用網路和無線公用網路。其中： (1) 光纖專用網路通訊方式宜選擇乙太網無源光網路、工業乙太網等光纖乙太網技術； (2) 電力線載波通訊方式可選擇電纜遮罩層載波等技術； (3) 無線專用網路通訊方式宜選擇符合國際標準、多廠家支援的寬頻技術； (4) 無線公用網路通訊方式宜選擇符合國際標準、多廠家支援的通訊技術。 具備控制功能的區域不宜採用無線公網通訊方式。採用無線公用網路通訊方式時，應符合相關安全防護要求和可靠度規定要求。</p> <p>8.2 通訊架構與規格</p> <p>8.2.1 通訊協定 電動汽車(EV)之通訊控制器(EVCC)與外部供電設備(EVSE)之通訊控制器(SECC)相互間的通訊應符合規範。V2G 併網裝置之外部供電設備(EVSE)及 V2G 服務供應者之通訊控制器(SECC)的通訊協定應符合 IEC61850 相關標準，與電業供電網路相互間的通訊協定依電業之規定。</p> <p>8.2.2 電力線通訊 V2G 通訊至少應包括：先導控制功能(PCF)和電力線通訊(PLC)。先導控制功能(PCF)須符合 IEC-61851-1 附錄 A 之定義。</p> <p>8.2.3 輔助服務型充電站對電網之通訊架構</p>														

標準項目	標準內容(草案)
	<p data-bbox="352 264 1430 365">當電動汽車充電站的資訊與電力系統連接，原則以 IEC 61850-90-8 作為與電力系統之通訊標準或依電業之規定，如圖 8.1。IEC 61850-90-8 提供充電站的設備狀態、充電控制及接受電力輔助服務調度等功能。</p> <div data-bbox="379 398 1401 922" data-label="Diagram"> <pre>             graph TD                 subgraph 電網                     電業 &lt;--&gt; 區域調度中心                 end                 subgraph 充電站                     CSCC_SECC[充電站控制中心 CSCC-SECC] &lt;--&gt; EVSE_VECC[充電設備 EVSE-VECC]                     EVSE_VECC &lt;--&gt; EV[電動車 EV]                 end                 電網 &lt;--&gt; IEC 61850-90-8  CSCC_SECC                 CSCC_SECC &lt;--&gt; IEC 15118  EVSE_VECC                 EVSE_VECC &lt;--&gt; EV             </pre> </div> <p data-bbox="655 931 1182 963">圖 8.1 輔助服務型充電站對電網之通訊架構</p> <p data-bbox="352 996 879 1028">8.2.4 非輔助服務型充電站對電網之通訊架構</p> <p data-bbox="352 1030 1430 1167">當電動汽車充電站的資訊與電力系統連接，僅提供電動車充電，並以定時特定費率計費，未提供電力調度中心進行調度、操作、控制或提供輔助服務時，得以 IEC 62056 標準規範或依電業之規定作為與電力系統之通訊標準，如圖 8.2。依 IEC 62056 標準規範提供智慧型電表的讀表、計費功能。</p> <div data-bbox="406 1200 1412 1697" data-label="Diagram"> <pre>             graph TD                 subgraph 電網                     電業 &lt;--&gt; 區域調度中心                 end                 subgraph 充電站                     Smart_Meter[智慧型電表 Smart Meter] &lt;--&gt; CSCC_SECC[充電站控制中心 CSCC-SECC]                     CSCC_SECC &lt;--&gt; EVSE_EVCC[充電設備 EVSE-EVCC]                     EVSE_EVCC &lt;--&gt; EV[電動車 EV]                 end                 電網 &lt;--&gt; IEC 62056  Smart_Meter                 Smart_Meter &lt;--&gt; IEC 15118  CSCC_SECC                 CSCC_SECC &lt;--&gt; EVSE_EVCC                 EVSE_EVCC &lt;--&gt; EV             </pre> </div> <p data-bbox="614 1706 1166 1738">圖 8.2 非輔助服務型充電站對電網之通訊架構</p> <p data-bbox="352 1771 826 1803">8.2.5 其他類型充電站對電網之通訊架構</p> <p data-bbox="352 1805 1430 1906">利用 IEC 62056 或依電業規定之通訊協定提供智慧型電表的讀表、計費功能，搭配 IEC 61850-7-420 或依電業規定之通訊協定，將充電站視為分散式電源，提供電動車充電及其他電力設備自動化控制功能，如圖 8.3。</p> <p data-bbox="352 1908 692 1939">8.3 通訊設備互通性功能要求</p> <p data-bbox="352 1942 665 1973">8.3.1 通訊網路互通性要求</p> <p data-bbox="406 1975 1430 2011">電動車輛充電站與電網調度機構和充電站調度中心三方之通訊相關設備應保持可用暢</p>

標準項目	標準內容(草案)
	<p>通之狀態。 V2G 併網裝置之網路通訊相關設備規格，應符合操作及控制需求，可相容多種國際主要通訊標準。</p> <div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">圖 8.3 其他類型充電站對電網之通訊架構</p> <p>8.3.2 資通訊功能與資訊安全測試            電動車輛充電站營運前應經資通訊測試，檢測電網通訊互通及資訊正確儲存及互傳等功能，以確保資、通訊功能正常及資訊安全。            電動車輛充電站營運後，應定期進行資通訊功能與資訊安全之測試。</p>

## 柒、結論

歐洲多數國家採用 ISO/IEC 15118 作為 V2G 架構下的電動車輛與充電設備間的通訊協定，但電動車(含充電站)對電網的通訊仍在發展階段。雖然國際間多數國家有採用 IEC 61850 做為充電設備與智慧型電網間的通訊標準的趨勢，但目前未有國家公佈 V2G 架構中充電設備對智慧型電網間的通訊標準。

本研究參考國外現行所制定電動車輛與電網間 V2G 的相關標準，研擬 V2G 與電業/充電站調度中心等之間的互通性產業標準草案。所研擬的標準係遵照標準檢驗局制定標準的格式規定，目前該標準仍在草擬階段，後續將持續進行修訂。

## 捌、參考文獻

- [1] 陳士麟，「智慧電網標準及產業發展規劃書」，中原大學，桃園，2013 年。
- [2] 黃雅琪，「連結智慧電網與電動車的橋樑 -Vehicle to Grid 技術市場初探」，IEK 產業情報網，2011 年。
- [3] 刘晓飞、张千帆、崔淑梅，「电动汽车 V2G 技术综述」，电工技术学报第 27 卷第 2 期，2012 年 2 月。
- [4] 左峻德、陳隆武、陳士麟等，「台電公司經營電動車充電站策略研究」，2001 年度台電綜合研究所公司委託台灣經濟研究院研究計畫(546-4845-9902)期末報告，2012 年 1 月。
- [5] 左峻德、陳士麟、陳彥豪等，「電動車與充電站營運模式對電能補充影響分析研究」，2014 年度台電綜合研究所公司委託台灣經濟研究院研究計畫(546-4845-0205)期末報告，2015 年 10 月。

- [6] 马玲玲、杨军、付聪、刘培、孙元章,「电动汽车充放电对电网影响研究综述」,电力系统保护与控制第41卷第3期,2013年2月。
- [7] 吴志新,「中国电动汽车标准化的现状与发展趋势」,中國汽車技術研究中心,北京,2014年。
- [8] 鲍薇、胡学浩、何国庆、李光辉,「分布式电源并网标准研究」,电网技术第36卷第11期,2012年11月。
- [9] 杨大为、黄秀琼、杨建华、张菁、奉斌,「微电网和分布式电源系列标准 IEEE 1547 述评」,南方电网技术第6卷第5期,2012年11月。
- [10] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., “IEEE Std. 1547 - Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems,” Standards Coordinating Committee 21 on Fuel Cells, Photovoltaics, Dispersed Generation, and Energy Storage, 12 June 2003.
- [11] 台灣電力股份有限公司,「再生能源發電系統併聯技術要點」,2009年12月。
- [12] E. Oswald, M. Spähn, D. Seydel, T. Steiner, A. Gonzalez, J. Ratej, M. Levstek, B. Mehle, U. Krisper and C. Tormo, “Overall Concept of The Communication Network (WP3 Communication Systems), Smart Vehicle to Grid Interface Acronym: SMARTV2G,” Contract No 284953 D3.2, 4 Nov. 2013.
- [13] “SMARTV2G Deliverable 7.7: Final Report (WP7 Dissemination and Business Plan),” Smart Vehicle to Grid Interface Acronym: SMARTV2G, Contract No 284953, D7.7, July 2014.
- [14] International Organization for Standardization, “ISO/IEC 15118 -1: Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 1: General information and use-case definition,” IEC TC 69 Electric road vehicles and electric industrial trucks, 1 Oct. 2013.
- [15] International Organization for Standardization, “ISO/IEC 15118 -2: Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 2: Network and application protocol requirements,” IEC TC 69 Electric road vehicles and electric industrial trucks, 1 April 2014.
- [16] International Organization for Standardization, “ISO/IEC 15118 -3: Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 3: Physical and data link layer requirements,” IEC TC 69 Electric road vehicles and electric industrial trucks, 15 May 2015.
- [17] Fraunhofer Institute for Embedded Systems and Communication Technologies ESK, “Smart Charging Infrastructure for E-vehicles,” [http://www.esk.fraunhofer.de/content/dam/esk/en/documents/PDB\\_SmartV2G\\_2\\_en\\_web.pdf](http://www.esk.fraunhofer.de/content/dam/esk/en/documents/PDB_SmartV2G_2_en_web.pdf).
- [18] Slav Berezin, “IEC/ISO SAE Standardization: PEV PLC Communications,” General Motors, 28 March 2012.
- [19] Ingo Diefenbach, “Electric Vehicles: Implementation challenges move into top gear,” RWE E-Mobility URELECTRIC conference, Brussels, 29 September 2010.
- [20] “Standardization for road vehicles and associated infrastructure report in response to Commission Mandate M/468 concerning the charging of electric vehicles,” CEN-CENELEC Focus Group on European Electro-Mobility, Version 2, Oct. 2011.
- [21] “e-Dash Electricity Demand and Supply Harmonization for EVs: e-DASH Project Final Presentation WP500 D500.4.2,” <http://ses.jrc.ec.europa.eu/e-dash>.
- [22] Francois Colet, Jens Schmutzler, “e-Dash Electricity Demand and Supply Harmonization for EVs: Vehicle to grid interface and standardization,” e-Dash Final Review Dissemination Event Standardization, Oct. 2014.



## 徵稿簡則

- 一、本刊歡迎電力工程相關之論述、譯述、經驗談及特約稿等。
- 二、來稿需簡潔明瞭、字數以不超過2萬字為原則(含圖、表，惟圖表篇幅以不超過全文20%為原則)，並請附書面稿件乙份及微軟Word建檔之光碟片乙份。
- 三、來稿格式及章節編號等請依照所附之「稿件撰寫範例」撰寫。
- 四、文責自負；作者應簽署「台電工程月刊申請投稿暨著作財產權讓與聲明書」；譯稿請附原文及著作權人書面同意書。(列名作者至多以4位為原則，其他協同參與者加註於文後)
- 五、文章一經採用著作財產權即屬本刊所屬之台灣電力股份有限公司所有，文章發表後酌致稿酬。
- 六、除另有聲明外，本刊對來稿有刪改權；無論刊登與否，恕不退稿。

## 稿件撰寫範例

### 促進台電公司學習型組織與網路化教學推廣導入之研究

A Study of Improvement of Learning Culture and Promotion of E-Learning in Taipower

楊世雄 \*  
Yang, Shyh-Shyong

楊中旗 \*\*  
Yang, George

蘇文華 \*\*\*  
Su, Wally

( 年度研究計畫論文 )

#### 摘要

||.....(300 字以內扼要說明目的、方法、結果與結論).....||

#### Abstract

||.....||

\* 台灣電力公司綜合研究所

\*\* 育基數位科技公司

\*\*\* 勝典科技公司

**關鍵詞(Key Words)：**(3~7個)學習型組織(Learning Organization)、數位學習(E-Learning)、網路學習平台(E-Learning Platform)、學習內容管理系統(Learning Content Management System)、學習元件(Learning Object)。

#### 壹、前言

#### 貳、(章節請按下列順序編排)

- 一、.....
- 二、.....
- (一).....
- 1.....
- (1).....
- A.....
- (A).....
- a.....
- (a).....

#### 伍、誌謝

\*本篇其他協同參與者：OOO、OOO、OOO

#### 陸、參考文獻

- 圖書：請依作者姓名、書名、版次、出版地、出版者、出版年、起訖頁數順序書寫。
- 期刊：請依作者姓名、論文篇名、期刊名稱、卷或期號、起訖頁數、出版年順序書寫。
- 註1：數字用語：請依「公文書橫式書寫數字使用原則」，具一般數字意義者以阿拉伯數字表示。
- 註2：請提供稿費受款人及聯絡人姓名、通訊地址、電話號碼。
- 註3：請於文中適當位置，標註相關參考文獻編號並以[ ]上標表示。

台電內部網頁：<http://10.52.200.200/w/>本所刊物/台電工程月刊

台電外部網頁：<http://www.taipower.com.tw/>電力生活館/台電圖書/台電工程月刊

# MONTHLY JOURNAL OF TAIPOWER'S ENGINEERING

Vol.818 October 2016

---

---

## NUCLEAR POWER GENERATION :

The Estimation of Extreme Typhoon Storm Surges at Chinshan, Kuosehng and  
Maanshan Nuclear Power Plant.....Lin, Mei-Ying et al.....(1)

## TRANSMISSION AND TRANSFORMATION :

Statistical Analysis and Improvement for 161kV One-piece Silicon Rubber  
Cable Joint Faults.....Hsiao, Sheng-Jen et al.....(14)

Application of Big Data Analysis to Improve and Enhance CB Maintenance  
Performance..... Weng, Yung-Tsai et al..... (27)

## INFORMATION AND COMPUTER :

Big Data Analytics for Electric Power Companies.....Yeh, Chia-Hung et al.....(37)

The Smart Building Demand Side Management System that Integrated with  
Smart Building Management and Automated Demand Response System.....Chang, Tso-Fan et al..... (62)

## ENGINEERING TECHNIQUES :

Safety Assessment and Regulatory Research of Thermal Fatigue in  
BWR Un-isolable Piping and Mixing-tee.....Li, Chao-Jen et al..... (75)

## OTHERS :

The Study on the Development of Electric Vehicles (including Charging Stations)  
V2G Draft Standards.....Lu, Feng-Chang et al..... (92)

---

---



GPN : 2003700005  
定價 : 新台幣100元